



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería civil

**Propuesta de un sistema de validación constructiva automatizada,
integrando Semantic BIM y blockchain para la mejora de la trazabilidad de
proyectos en modalidad de Núcleo Ejecutor en Arequipa, Perú**

Tesis presentada por:

Carpio Pequeño, Jhordan Omar

ORCID: 0009-0002-3880-7822

Pacheco Perez, Renata Esther

ORCID: 0009-0007-9531-3251

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Loayza Rodríguez José Germán

ORCID: 0000-0003-0997-674X

Arequipa - Perú

2026

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 14 de Abril del 2026

Dictamen: 016048-C-EPIC-2026

Visto el borrador del expediente 016048, presentado por:

2020802262 - PACHECO PEREZ RENATA ESTHER

2020174621 - CARPIO PEQUEÑO JHORDAN OMAR

Titulado:

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE VALIDACIÓN CONSTRUCTIVA AUTOMATIZADA, INTEGRANDO
SEMANTIC BIM Y BLOCKCHAIN PARA LA MEJORA DE LA TRAZABILIDAD DE PROYECTOS EN
MODALIDAD DE NÚCLEO EJECUTOR EN AREQUIPA, PERÚ**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

**29245617 - DIAZ GALDOS MIGUEL RENATO
DICTAMINADOR**



**71256920 - TORRES ALMIRON JENIFFER CARLA
DICTAMINADOR**



**46309156 - MONTOYA VILLANUEVA FILIBERTO RODY
DICTAMINADOR**



PROPUESTA DE UN SISTEMA DE VALIDACIÓN CONSTRUCTIVA AUTOMATIZADA, INTEGRANDO SEMANTIC BIM Y BLOCKCHAIN PARA LA MEJORA DE LA TRAZABILIDAD DE PROYECTOS EN MODALIDAD DE NÚCLEO EJECUTOR EN AREQUIPA, PERÚ

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1%

3

repositorio.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

4

repositoriotec.tec.ac.cr

Fuente de Internet

<1%

5

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

<1%

6

michaelshortacademic.wordpress.com

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza, la fe y la voluntad para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles, por iluminar mi camino y no soltarme cuando más lo necesité.

A mi madre, Antonia Pequeño, por ser el motor de mi vida, por su amor infinito, su paciencia y su entrega incondicional. Por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por impulsarme a no rendirme y por ser la razón más grande de cada uno de mis logros.

A mi padre, Omar Carpio, por confiar en mí desde el primer momento, por darme ese apoyo desde pequeño, por su protección, por ser mi pilar y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi hermana, por cuidarme, por las noches de enseñanza, por guiarme y acompañarme desde siempre, siendo una segunda madre que ha marcado mi camino con su cariño y protección.

A mis amigos, por estar en cada etapa, por sus palabras de aliento, por levantarme en los momentos difíciles y por hacer este camino mucho más llevadero.

Carpio Pequeño, Jhordan Omar

A esa fuerza que ilumina mi camino, llamada Dios, que en los momentos de debilidad me demuestra claramente que nunca estoy sola y que siempre puedo dar más de mí.

A mi madre Rosa Pérez, por mostrarme lo que es amar incondicionalmente y llenar mi vida de hermosos recuerdos, ternura, paciencia y grandes enseñanzas. Por ser la mujer que siempre me espera con una sonrisa al llegar y a quien amaré toda mi vida.

A mi padre Ramiro Pacheco, a quien amo profundamente y agradezco por todos los esfuerzos que hizo para darme lo mejor, por las incontables veces que me hace reír y por todas las enseñanzas que me han convertido en la persona que soy hoy.

A mi hermano, también llamado Ramiro Pacheco, quien me enseñó el valor de la perseverancia y la disciplina, y me apoyó en todo este camino para ser profesional.

A todos mis amigos y profesores, con quienes compartí momentos inolvidables, aprendizajes y experiencias que marcaron mi vida, siendo ellos parte de esta etapa que hoy culmina y que da inicio a nuevos sueños y desafíos en mi vida profesional.

Pacheco Pérez, Renata Esther

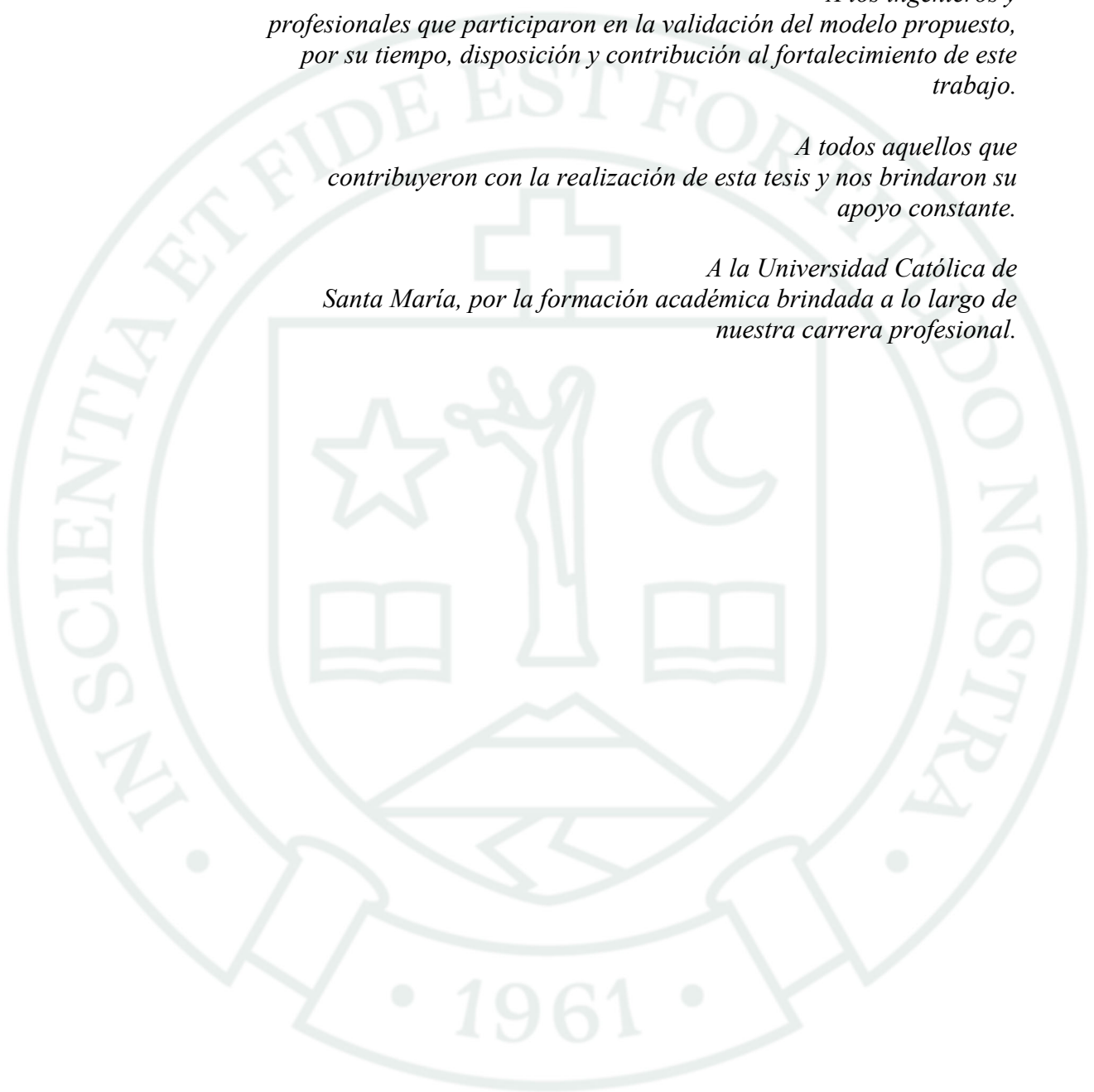
AGRADECIMIENTOS

A nuestro asesor, Ing. José Germán Loayza Rodríguez, por su orientación, apoyo constante y valiosos aportes durante el desarrollo de la presente investigación.

A los ingenieros y profesionales que participaron en la validación del modelo propuesto, por su tiempo, disposición y contribución al fortalecimiento de este trabajo.

A todos aquellos que contribuyeron con la realización de esta tesis y nos brindaron su apoyo constante.

A la Universidad Católica de Santa María, por la formación académica brindada a lo largo de nuestra carrera profesional.



RESUMEN

La presente investigación abordó la problemática de la limitada trazabilidad, confiabilidad y control técnico de la información en proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor en Arequipa, contexto en el que persisten deficiencias en la verificación constructiva, inconsistencias en expedientes técnicos y ausencia de mecanismos digitales de validación. Frente a ello, el objetivo general fue proponer un sistema automatizado de validación constructiva mediante la integración de Semantic BIM y blockchain, orientado a mejorar la trazabilidad de los proyectos y fortalecer la gestión técnica de la información.

La investigación fue de tipo aplicada, con alcance explicativo, enfoque mixto y diseño no experimental de tipo transversal. Metodológicamente, se estructuró en cuatro fases: análisis de avances tecnológicos y diagnóstico contextual, definición de la estructura semántica del modelo BIM, desarrollo del sistema automatizado de registro y validación, y evaluación del sistema mediante juicio de expertos. Para ello se emplearon técnicas como revisión bibliográfica, análisis documental técnico-normativo, entrevistas semiestructuradas, modelado BIM, enriquecimiento semántico, registro local con blockchain y validación mediante el método Delphi. Asimismo, el estudio se delimitó a elementos estructurales críticos de un proyecto Cuna Más seleccionado en Majes, excluyendo el modelado detallado del acero de refuerzo.

Los resultados evidenciaron que la propuesta permitió estructurar semánticamente la información del modelo BIM mediante ontologías, reglas lógicas y validación automatizada de parámetros técnicos, funcionales y normativos, así como registrar los resultados de validación estructural en una arquitectura criptográfica verificable basada en blockchain. El sistema contribuyó de manera directa a mitigar problemáticas diagnosticadas como errores técnicos y de diseño, dificultades en el registro y seguimiento documental, falta de mecanismos de trazabilidad y dudas sobre la integridad de la información; además, alcanzó una aceptación global superior al 80 % y un 91 % respecto a su aporte a la gestión de proyectos, mientras que la integración de Semantic BIM y blockchain obtuvo consensos de 84 % y 81 %, respectivamente, en la segunda fase Delphi. Se concluyó que la integración de Semantic BIM y blockchain constituye una solución técnicamente viable para optimizar la validación constructiva y mejorar la trazabilidad de la información en proyectos bajo modalidad de Núcleo Ejecutor.

Palabras clave: Semantic BIM, Blockchain, Validación automatizada

ABSTRACT

This research addressed the problem of limited traceability, reliability, and technical control of information in construction projects executed under the Núcleo Ejecutor modality in the Arequipa context, where deficiencies persist in construction validation, inconsistencies in technical documentation, and the absence of automated validation mechanisms. In response, the main objective was to develop an automated construction validation system through the integration of Semantic BIM and blockchain technologies, aimed at improving project traceability and strengthening technical information management.

The research was applied in nature, with an explanatory scope, a mixed-methods approach, and a non-experimental cross-sectional design. Methodologically, it was structured in four phases: analysis of technological advances and contextual diagnosis, definition of the semantic structure of the BIM model, development of the automated validation and registration system, and system evaluation through expert judgment. Techniques included literature review, technical and normative document analysis, semi-structured interviews, BIM modeling, semantic enrichment, local blockchain integration, and validation using the Delphi method. The study was delimited to critical structural elements of a selected Cuna Más project in Majes, excluding detailed reinforcement modeling.

The results demonstrated that the proposal enabled the semantic structuring of BIM model information through ontologies and logical rules, allowing automated validation of technical, functional, and regulatory parameters. Additionally, the blockchain-based system ensured secure, immutable, and verifiable recording of structural validation results. The system contributed to mitigating identified issues such as technical and design errors, lack of traceability, and unreliable documentation management. It achieved an overall acceptance level above 80% and 91% in terms of its contribution to project management, while the integration of Semantic BIM and blockchain reached consensus levels of 84% and 81%, respectively. It was concluded that the integration of these technologies represents a technically viable solution to optimize construction validation processes and improve information traceability in projects under the Núcleo Ejecutor modality.

Keywords: Semantic BIM, Blockchain, Automated Validation

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO I.....3

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....3

1.1. Problemática3

1.2. Justificación5

1.2.1. Justificación social 7

1.2.2. Justificación metodológica..... 8

1.2.3. Justificación ambiental..... 8

1.2.4. Justificación tecnológica 8

1.2.5. Justificación política e institucional 9

1.3. Objetivos de la investigación.....9

1.3.1. Objetivo general 9

1.3.2. Objetivos específicos 9

1.4. Hipótesis10

1.5. Variables de la investigación10

1.5.1. Variable independiente..... 10

1.5.2. Variable dependiente..... 10

1.6. Operacionalización de variables11

CAPÍTULO II.....14

2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....14

2.1. Estado del arte.....14

2.1.1. Contexto internacional 15

2.1.2. Contexto peruano	18
2.2. Bases conceptuales	21
2.2.1. Building Information Modeling (BIM)	21
2.2.2. Modelo BIM paramétrico	21
2.2.3. Revit	21
2.2.4. Semantic BIM	21
2.2.5. Ontologías	22
2.2.6. Reglas semánticas y razonamiento automático	22
2.2.7. Validación constructiva automatizada	22
2.2.8. Trazabilidad de la información técnica	23
2.2.9. Blockchain	23
2.2.10. Función Hash Criptográfica	23
2.2.11. Bloque y Cadena de Bloques	23
2.2.12. Protégé	24
2.2.13. Interoperabilidad de datos	24
2.2.14. PyRevit	24
2.2.15. Smart Contract	25
2.3. Bases teóricas	25
2.3.1. Trazabilidad en Proyectos de Construcción	25
2.3.2. Relevancia de la trazabilidad en proyectos vía Núcleo Ejecutor	26
2.3.3. Building Information Modeling (BIM): beneficios y limitaciones	26
2.3.4. Evolución del BIM hacia modelos semánticos	27
2.3.5. BIM Semántico (Semantic BIM)	28
2.3.6. Aplicaciones de Semantic BIM en automatización de procesos	29
2.3.7. Validación constructiva automatizada basada en reglas semánticas	30
2.3.8. Limitaciones en los sistemas de control y validación constructiva	30
2.3.9. Tecnología blockchain en la Construcción	31

2.3.10. Blockchain como mecanismo de trazabilidad de información	32
2.3.11. Aplicaciones en la industria AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción).....	32
2.3.12. Integración de Semantic BIM y blockchain para la trazabilidad técnica	33
2.3.13. Integración con plataformas BIM y sistemas de gestión	34
2.3.14. Interoperabilidad y Sinergias Tecnológicas	34
2.3.15. Plataformas y estándares de interoperabilidad.....	35
2.3.16. El Modelo de Ejecución por Núcleo Ejecutor.....	36
2.3.17. Características organizativas y operativas del Núcleo Ejecutor	37
2.3.18. Desafíos técnicos y administrativos en la gestión constructiva	37
2.3.19. Aporte del sistema de validación Semantic BIM – blockchain al modelo Núcleo Ejecutor	38
2.3.20. Ventajas para la trazabilidad, auditoría y transparencia de procesos.....	38
2.3.21. Sistema de Validación Constructiva Automatizada.....	39
2.3.22. Principios de automatización en validación técnica.....	40
2.3.23. Impacto potencial en la eficiencia y la trazabilidad	41
2.3.24. Casos de estudio relevantes.....	42
2.4. Marco legal	44
CAPÍTULO III	46
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.1. Tipo de investigación.....	46
3.2. Alcance de investigación	46
3.3. Enfoque de la investigación.....	47
3.4. Diseño de la investigación	47
3.5. Métodos de investigación	47
3.6. Descripción metodológica	51
3.7. Campo de verificación.....	56

3.8. Técnicas e instrumentos de investigación.....	58
3.9. Método de selección y muestreo.....	59
3.10. Esquema metodológico.....	60
CAPÍTULO IV	61
4. INTEGRACIÓN SEMANTIC BIM Y BLOCKCHAIN.....	61
4.1. Avances recientes y tendencias internacionales	61
4.1.1. Investigaciones y prototipos recientes (2019–2025).....	61
4.2. Casos de éxito en validación constructiva automatizada.....	71
4.3. Aplicaciones de Blockchain en control de obras y contratos.	73
4.4. Contexto local: modalidad de Núcleo Ejecutor en Arequipa	75
4.5. Dificultades en la trazabilidad y gestión documental.	77
4.6. Procesos constructivos críticos sin trazabilidad técnica.	78
4.7. Entrevistas a residentes de obra de los 3 proyectos.....	80
CAPÍTULO V	113
5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SEMÁNTICA BIM.....	113
5.1. Definición de los elementos semánticos del modelo	113
5.2. Alcance del análisis semántico del proyecto	113
5.3. Identificación de componentes constructivos críticos.	114
5.4. Atributos técnicos	115
5.6. Atributos funcionales.....	120
5.7. Relación entre categorías de análisis y atributos del modelo BIM.....	121
5.8. Desarrollo de la estructura semántica	122
5.8.1. Creación del esquema ontológico	123
5.8.2. Relaciones entre elementos y metadatos.....	126
5.8.3. Definición de reglas lógicas para validación.	127
5.9. Parámetros definidos para la validación	128
5.10. Diseño y formalización ontológica para validación semántica	131

5.10.1. Estructuración del esquema ontológico en Protégé	131
5.10.2. Definición de individuos (individuals).....	137
5.10.3. Resultados de formalización ontológica	139
5.10.4. Ejecución del razonador y verificación experimental	140
CAPÍTULO VI	152
6. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SEMANTIC BIM - BLOCKCHAIN.....	152
6.1. Flujo metodológico del proceso de validación automática.....	152
6.2. Implementación de la validación automática en el entorno BIM	153
6.2.3. Herramienta PyRevit para la automatización.....	164
6.2.4. Arquitectura del módulo desarrollado.....	164
6.2.5. Proceso de extracción de elementos estructurales	166
6.2.6. Ejecución del script de validación mediante PyRevit	170
6.2.7. Diagrama de flujo del script de validación	170
6.2.8. Recolección y filtrado de elementos estructurales	172
6.2.9. Clasificación de elementos estructurales	172
6.2.10. Lectura de parámetros técnicos del modelo BIM	173
6.2.11. Registro de valores extraídos	174
6.2.12. Evaluación de relaciones geométricas entre elementos estructurales	175
6.2.13. Asignación automática del estado de cumplimiento	179
6.2.14. Registro tabular de resultados	181
6.2.15. Determinación del estado general de cumplimiento	187
6.2.16. Representación gráfica de resultados en vista 3D	188
6.3. Generación de resultados de validación en formatos interoperables	192
6.4. Integración del sistema de registro de resultados basado en tecnología blockchain	193
6.4.1. Fundamentación teórica del uso de blockchain en la gestión de validaciones semánticas	193

6.4.2. Arquitectura conceptual del sistema integrado	
SemanticBIM–Blockchain.....	194
6.4.3. Generación de resultados en formato interoperable JSON	195
6.4.4. Implementación técnica del entorno local de registro blockchain	203
6.4.5. Estructura conceptual del bloque criptográfico.....	206
6.4.6. Proceso conceptual de encadenamiento de bloques.....	210
6.4.7. Alcance y delimitación de la implementación Blockchain	214
6.5. Visualización y análisis de resultado con Power BI.....	215
CAPÍTULO VII.....	223
7. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE INTEGRACIÓN	223
7.1. Justificación del uso del método Delphi.....	223
7.2. Selección del panel de expertos.....	223
7.3. Diseño del instrumento de evaluación.....	225
7.4. Validación del modelo de gestión propuesto.....	226
7.5. Resultados del método Delphi.....	228
7.5.1. Bloque 1: Objetivo y justificación de la investigación	229
7.5.2. Bloque 2: Alcance de la investigación	234
7.5.3. Bloque 3: Metodología de la investigación.....	237
7.5.4. Bloque 4: Sistema propuesto basado en Semantic BIM y Blockchain	242
7.6. Análisis de resultados	254
7.6.1. Análisis de beneficios	254
7.6.2. Comparación de trazabilidad antes y después del sistema.....	254
7.6.3. Beneficios técnicos, económicos y de gestión pública	255
7.6.4. Impacto potencial en la modalidad de Núcleo Ejecutor.....	255
7.6.5. Análisis de limitaciones	255
7.6.6. Restricciones tecnológicas, normativas o de adopción institucional.	256
7.6.7. Observaciones para mejoras futuras.....	257

CONCLUSIONES.....	261
RECOMENDACIONES	263
REFERENCIAS	264



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evolución del PBI sector construcción en el Perú	5
Figura 2 Modelado semántico en 3D.....	6
Figura 3 Blockchain en la construcción	7
Figura 4 Proyecto Cuna Más elegido, ubicado en el distrito de Majes, provincia de Caylloma, región de Arequipa	57
Figura 5 Esquema metodológico	60
Figura 6 Mapa de red con enfoque: Semantic BIM	61
Figura 7 Mapa de red con enfoque: Blockchain en la construcción.....	62
Figura 8 Mapa de red con enfoque: Semantic BIM + Blockchain	62
Figura 9 Mapa de red con enfoque: Smart Contracts en la construcción.....	63
Figura 10 Mapa de red con enfoque: Ontologías BIM.....	64
Figura 11 Proceso de integración Semantic BIM con blockchain	110
Figura 12 Diagrama de flujo ontológico del modelo BIM (Clases de elementos - atributos - relaciones)	125
Figura 13 Jerarquía de clases ontológicas	133
Figura 14 Definición de propiedades de objeto y restricciones semánticas en el esquema ontológico.....	134
Figura 15 Definición de propiedades de datos para atributos técnicos y normativos en el esquema ontológico.....	136
Figura 16 Valores asignados a los individuos de la clase CimientoCorrido	137
Figura 17 Valores asignados a los individuos de la clase Columna.....	138
Figura 18 Valores asignados a los individuos de la clase MuroPortante	138
Figura 19 Restricciones y axiomas de la clase Columna	141
Figura 20 Restricciones y axiomas de la clase MuroPortante.....	142
Figura 21 Restricciones y axiomas de la clase CimientoCorrido.....	142
Figura 22 Disyunción entre la clase ElementoVertical y ElementoHorizontal.....	143

Figura 23	Verificación de consistencia ontológica mediante el razonador HermiT en OWL 2DL	144
Figura 24	C_4 clasificada como ColumnaInvalida	145
Figura 25	C_1, C_2 y C_3 clasificadas como ColumnaValida.....	146
Figura 26	Explicación del incumplimiento de la restricción.....	146
Figura 27	Cambio del valor de anchoCimiento c del CC_2.....	147
Figura 28	Cambio del valor de f'c de la C_2	147
Figura 29	C_2 y C:4 clasificados como CimientoCorridoInvalido.....	148
Figura 30	CC_2 categorizado como CimientoCorridoInvalido	148
Figura 31	Representación gráfica de la ontología para la validación semántica de elementos estructurales	150
Figura 32	Individuo ontológico con propiedades asociadas	151
Figura 33	Flujo metodológico del proceso de validación automática de elementos estructurales BIM	152
Figura 34	Generación del reporte de resultado de validación semántica	154
Figura 35	Vista arquitectónica del proyecto.....	156
Figura 36	Vista en planta estructural del proyecto.....	156
Figura 37	Vista tridimensional estructural del modelo	157
Figura 38	Parámetros compartidos asignados a un tipo de muro portante.....	158
Figura 39	Parámetros compartidos asignados a un tipo de columna.....	158
Figura 40	Parámetros compartidos asignados a un tipo de cimiento corrido.....	159
Figura 41	Arquitectura funcional del módulo de validación automatizada desarrollado en PyRevit.....	166
Figura 42	Estructuración paramétrica de columnas estructurales para el proceso de validación automatizada	167
Figura 43	Estructuración paramétrica de cimientos corridos para el proceso de validación automatizada	168

Figura 44	Estructuración paramétrica de muros portantes para el proceso de validación automatizada	169
Figura 45	Interfaz de ejecución del script de validación mediante Pyrevit en Autodesk Revit	170
Figura 46	Script ejecutado para la validación automática.....	170
Figura 47	Diagrama de flujo del proceso de validación estructural implementado en el script de PyRevit	171
Figura 48	Recolección y filtrado programático de elementos estructurales por categoría y parámetro “Elemento”	172
Figura 49	Función filtro_elemento en el código	173
Figura 50	Función ger_param_value en el código	173
Figura 51	Función de verificación normativa para cimientos corridos	174
Figura 52	Función de verificación normativa para muros portantes	174
Figura 53	Función de verificación normativa para columnas estructurales	175
Figura 54	Función de verificación de relación entre columnas y sistema de cimentación.....	176
Figura 55	Función de detección de interferencias entre muros portantes y columnas	177
Figura 56	Función de verificación de relaciones entre cimientos corridos y muros portantes.....	178
Figura 57	Inicio de la ejecución del script de validación estructural en Revit.....	180
Figura 58	Generación automática del archivo de resultados de validación	180
Figura 59	Tabla de resultados para cimientos corridos generada por el sistema de validación estructural	182
Figura 60	Ventana de " Selección por ID" de Revit.....	183
Figura 61	Ubicación del cimiento corrido identificado en el modelo BIM	183
Figura 62	Tabla de resultados para columnas estructurales generada por el sistema de validación estructural	184

Figura 63	Ubicación de la columna estructural identificada en el modelo BIM.....	185
Figura 64	Tabla de resultados para muros portantes generada por el sistema de validación estructural.....	186
Figura 65	Ubicación del muro portante identificado en el modelo BIM	187
Figura 66	Lógica de determinación del estado general de cumplimiento en el sistema de validación	188
Figura 67	Resultado del estado general de cumplimiento registrado en la tabla de validación	188
Figura 68	Interfaz de selección de categorías estructurales para la generación de la vista de revisión.....	189
Figura 69	Anuncio de vista de revisión de elementos creada	190
Figura 70	Vista creada en el panel de navegador de proyectos en Revit	190
Figura 71	Visualización general de resultados de validación estructural en el modelo BIM.....	191
Figura 72	Visualización de resultados de validación vistos desde la parte inferior	192
Figura 73	Flujograma de trabajo	195
Figura 74	Tabla de datos exportados de Cimientos Corridos.....	196
Figura 75	Tabla de datos exportados de Columnas.....	196
Figura 76	Tabla de datos exportados de Muro Portante.....	197
Figura 77	Ejemplo de formato JSON aplicado a la metodología.....	198
Figura 78	Transformación de formatos Csv a JSON- CC.....	198
Figura 79	Transformación de formatos Csv a JSON- Col	199
Figura 80	Transformación de formatos Csv a JSON- Mp.....	199
Figura 81	Programación JSON Cimientos Corridos	200
Figura 82	Programación JSON Columnas Estructurales	201
Figura 83	Programación JSON Muros Portantes	202
Figura 84	Estructura de datos inmersos.....	203

Figura 85 Código de interoperabilidad de datos.....	204
Figura 86 Estructura de bloques semánticos	207
Figura 87 Timestamp ejemplo.....	208
Figura 88 Registro Data ejemplo.....	208
Figura 89 Código Hash encadenado ejemplo.....	209
Figura 90 Hash generado - ejemplo.....	209
Figura 91 Proceso de encadenamiento	210
Figura 92 Resultado de encadenamiento ejemplo	213
Figura 93 Cadena final generada para blockchain	213
Figura 94 Exportación de resultados de validación hacia Power BI.....	216
Figura 95 Interfaz de cimientos corridos del panel de validación.....	217
Figura 96 Incompatibilidad detectada en cimiento corrido mediante la RL-04.....	217
Figura 97 Incumplimiento de la RL-01 en cimiento corrido.....	218
Figura 98 Incumplimiento de la RL-02 en cimiento corrido.....	218
Figura 99 Interfaz de columnas del panel de validación	219
Figura 100 Incumplimiento de la RL-05 en columnas.....	219
Figura 101 Incumplimiento de la RL-08 en columnas.....	220
Figura 102 Columnas con incumplimiento de validación.....	220
Figura 103 Interfaz de muros portantes del panel de validación.....	221
Figura 104 Incumplimientos generales en muros portantes	221
Figura 105 Incumplimiento de la RL-09 en muros portantes	222
Figura 106 Vista general de reglas no cumplidas.....	222
Figura 107 Resultados porcentuales de la evaluación del objetivo general - Ronda 1 (Fase 1).....	230
Figura 108 Resultados porcentuales de la evaluación del objetivo general – Ronda 2 (Fase 2)	231

Figura 109 Resultados porcentuales de la evaluación de la justificación – Ronda 1 (Fase 1)	233
Figura 110 Resultados porcentuales de la evaluación de la justificación – Ronda 2 (Fase 2)	234
Figura 111 Resultados porcentuales de la evaluación del alcance – Ronda 1 (Fase 1)	235
Figura 112 Resultados porcentuales de la evaluación del alcance – Ronda 2 (Fase 2)	236
Figura 113 Resultados porcentuales de la evaluación de la metodología – Ronda 1 (Fase 1)	238
Figura 114 Resultados porcentuales de la evaluación de la metodología – Ronda 2 (Fase 2)	239
Figura 115 Resultados porcentuales de los criterios de selección del caso de estudio – Ronda 1 (Fase 1)	240
Figura 116 Resultados porcentuales de los criterios de selección del caso de estudio – Ronda 2 (Fase 2)	241
Figura 117 Resultados porcentuales de la integración de Semantic BIM – Ronda 1 (Fase 1)	243
Figura 118 Resultados porcentuales de la integración de Semantic BIM – Ronda 2 (Fase 2)	244
Figura 119 Resultados porcentuales de la integración de blockchain – Ronda 1 (Fase 1)	246
Figura 120 Resultados porcentuales de la integración de blockchain – Ronda 2 (Fase 2)	247
Figura 121 Resultados porcentuales de la evaluación de la estructura del sistema – Ronda 1 (Fase 1)	248
Figura 122 Resultados porcentuales de la evaluación de la estructura del sistema – Ronda 2 (Fase 2)	249
Figura 123 Resultados porcentuales del aporte del sistema a la gestión de proyectos – Ronda 1 (Fase 1)	251

Figura 124 Resultados porcentuales del aporte del sistema a la gestión de proyectos – Ronda 2 (Fase 2)	252
Figura 125 Nivel de aceptación de los expertos por pregunta en las rondas Delphi.....	253



ÍNDICE DE TABLAS

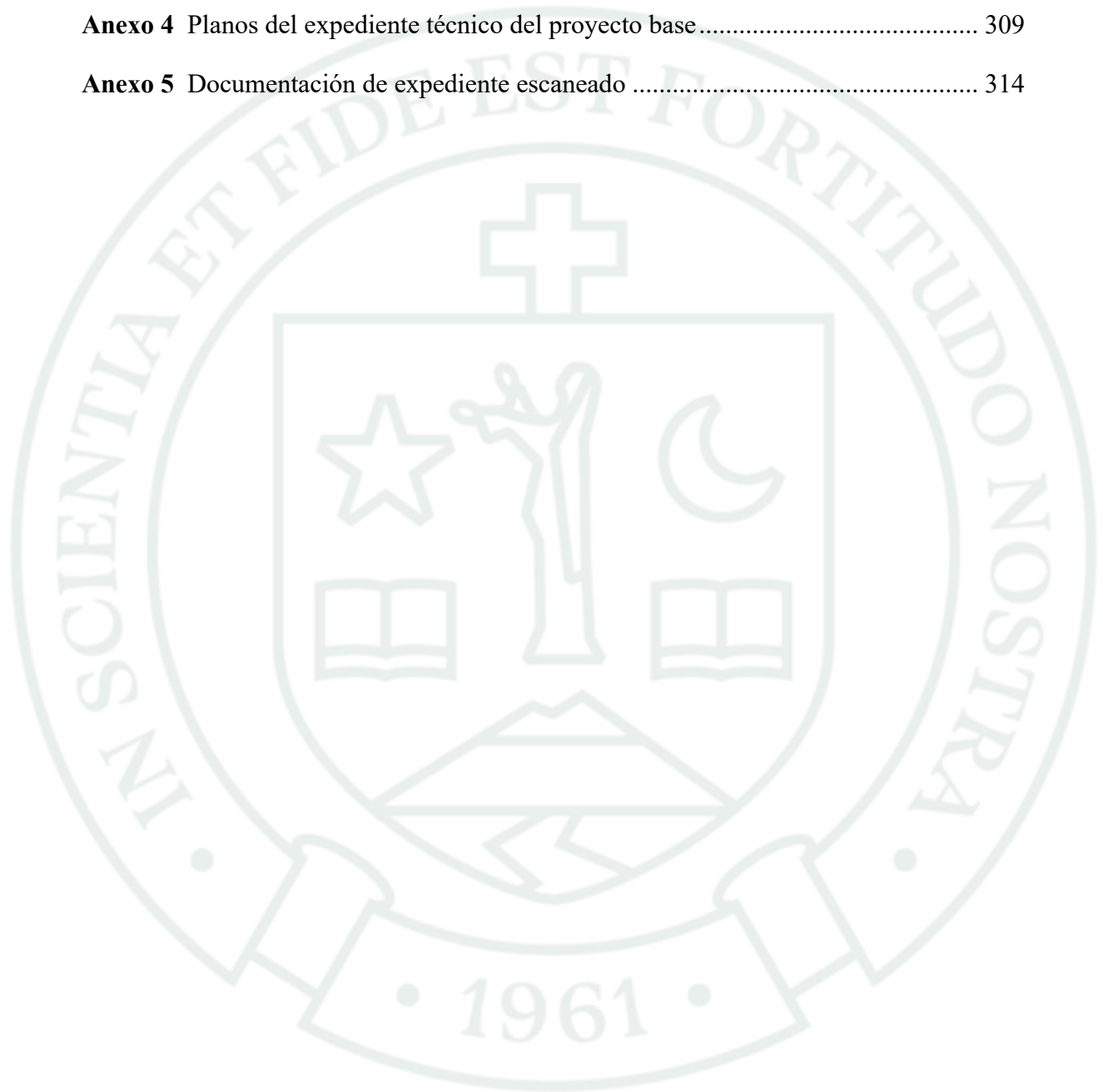
Tabla 1 Operacionalización de variables	11
Tabla 2 Estado del arte de la investigación en el contexto internacional	15
Tabla 3 Estado del arte de la investigación en el contexto peruano	18
Tabla 4 Marco legal de la investigación	44
Tabla 5 Métodos de la investigación	47
Tabla 6 Técnicas e instrumentos de investigación	58
Tabla 7 Revisión de literatura avances más recientes	65
Tabla 8 Marco normativo y operativo de los Núcleos Ejecutores	76
Tabla 9 Pregunta 1 realizada en la entrevista	83
Tabla 10 Pregunta 2 realizada en la entrevista	84
Tabla 11 Pregunta 3 realizada en la entrevista	85
Tabla 12 Pregunta 4 realizada en la entrevista	87
Tabla 13 Pregunta 5 realizada en la entrevista	88
Tabla 14 Pregunta 6 realizada en la entrevista	89
Tabla 15 Pregunta 7 realizada en la entrevista	91
Tabla 16 Pregunta 8 realizada en la entrevista	92
Tabla 17 Pregunta 9 realizada en la entrevista	93
Tabla 18 Pregunta 10 realizada en la entrevista	94
Tabla 19 Matriz de relaciones entre categorías de análisis y entrevistados	97
Tabla 20 Sistema de categorización y codificación	104
Tabla 21 Análisis comparativo entre problemáticas locales vs soluciones internacionales	108
Tabla 22 Identificación de componentes constructivos	114
Tabla 23 Identificación de atributos técnicos	116
Tabla 24 Identificación de atributos normativos	118

Tabla 25	Identificación de atributos funcionales.....	120
Tabla 26	Operacionalización de categorías en atributos de validación BIM	121
Tabla 27	Organización lógica del esquema ontológico	123
Tabla 28	Relaciones semánticas entre elementos BIM y metadatos técnicos, normativos y de validación.....	126
Tabla 29	Reglas lógicas para la validación semántica de elementos estructurales en el modelo BIM.....	127
Tabla 30	Atributos técnicos y funcionales utilizados para la validación semántica de elementos estructurales conforme al RNE.....	129
Tabla 31	Sector analizado con la herramienta Protégé.....	132
Tabla 32	Definición formal de propiedades de datos del esquema ontológico	139
Tabla 33	Parámetros informativos y descriptivos definidos en el modelo BIM.....	159
Tabla 34	Estructura de parámetros utilizados en la validación columnas	161
Tabla 35	Estructura de parámetros utilizados en la validación cimiento corrido.....	162
Tabla 36	Estructura de parámetros utilizados en la validación muros portantes	163
Tabla 37	Cuadro de selección de expertos	224
Tabla 38	Evaluación del objetivo general de la investigación – Ronda 1 (Fase 1).....	230
Tabla 39	Evaluación del objetivo general de la investigación – Ronda 2 (Fase 2).....	231
Tabla 40	Evaluación de la justificación de la investigación – Ronda 1 (Fase 1).....	232
Tabla 41	Evaluación de la justificación de la investigación – Ronda 2 (Fase 2).....	233
Tabla 42	Evaluación del alcance de la investigación – Ronda 1 (Fase 1).....	235

Tabla 43 Evaluación del alcance de la investigación – Ronda 2 (Fase 2).....	236
Tabla 44 Evaluación de la metodología de la investigación – Ronda 1 (Fase 1).....	237
Tabla 45 Evaluación de la metodología de la investigación – Ronda 2 (Fase 2)	238
Tabla 46 Evaluación de los criterios de selección del caso de estudio – Ronda 1 (Fase 1)	240
Tabla 47 Evaluación de los criterios de selección del caso de estudio – Ronda 2 (Fase 2)	241
Tabla 48 Evaluación de la integración de Semantic BIM en el sistema propuesto – Ronda 1 (Fase 1).....	243
Tabla 49 Evaluación de la integración de Semantic BIM en el sistema propuesto – Ronda 2 (Fase 2)	244
Tabla 50 Evaluación de la integración de Blockchain en el sistema propuesto – Ronda 1 (Fase 1).....	245
Tabla 51 Evaluación de la integración de blockchain en el sistema propuesto – Ronda 2 (Fase 2).....	246
Tabla 52 Evaluación de la estructura del sistema de validación constructiva – Ronda 1 (Fase 1)	248
Tabla 53 Evaluación de la estructura del sistema de validación constructiva – Ronda 2 (Fase 2)	249
Tabla 54 Evaluación del aporte del sistema propuesto a la gestión de proyectos – Ronda 1 (Fase 1)	250
Tabla 55 Evaluación del aporte del sistema propuesto a la gestión de proyectos – Ronda 2 (Fase 2)	251
Tabla 56 Relación entre el diagnóstico del problema y el sistema propuesto	258

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Plan de ejecución BIM	275
Anexo 2	Reporte de Validación estructural automatizada del modelo BIM.....	296
Anexo 3	Planos arquitectónicos y estructurales del modelo BIM	306
Anexo 4	Planos del expediente técnico del proyecto base.....	309
Anexo 5	Documentación de expediente escaneado	314



INTRODUCCIÓN

Las deficiencias en la gestión de la información en proyectos constructivos, especialmente en aquellos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor en el contexto arequipeño, representan una problemática relevante debido a su impacto en la calidad técnica, la transparencia y el control de los procesos constructivos. La limitada trazabilidad, la baja interoperabilidad entre sistemas y la escasa confiabilidad de los datos generan inconsistencias en expedientes técnicos, dificultades en la verificación estructural y una alta dependencia de procesos manuales, lo que incrementa el riesgo de errores y pérdida de información. En este contexto, resulta necesario incorporar tecnologías digitales que permitan optimizar la validación constructiva y fortalecer la gestión de la información técnica. La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un sistema de validación constructiva automatizada mediante la integración de tecnologías Semantic BIM y blockchain, orientado a mejorar la trazabilidad, confiabilidad y control técnico de la información en proyectos bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor.

El Capítulo I: Planteamiento del problema, desarrolla la descripción de la problemática, la formulación del problema, los objetivos de la investigación, así como la justificación y delimitación del estudio.

El Capítulo II: Marco teórico, presenta los antecedentes, el marco conceptual y el sustento teórico de las variables de estudio, abordando los fundamentos de BIM, Semantic BIM y tecnología blockchain aplicados a la gestión de proyectos constructivos.

El Capítulo III: Metodología de la investigación, describe el enfoque mixto, de tipo aplicada y alcance explicativo, con diseño no experimental de corte transversal, así como las técnicas e instrumentos utilizados en el desarrollo del estudio.

El Capítulo IV: Integración de Semantic BIM y blockchain, expone el análisis de los avances tecnológicos y su aplicación en el contexto constructivo, estableciendo las bases locales para la integración de ambas tecnologías en la validación constructiva.

El Capítulo V: Diseño de estructuras semánticas, presenta la definición de la estructura semántica del modelo BIM, mediante la incorporación de atributos técnicos, normativos y funcionales, así como la construcción de ontologías para la organización de la información.

El Capítulo VI: Implementación del sistema, describe el desarrollo del sistema de validación constructiva automatizada, incluyendo el registro de resultados de validación

estructural y su integración con tecnología blockchain para garantizar la trazabilidad, integridad y verificación de la información.

El Capítulo VII: Evaluación del sistema, presenta la validación del sistema mediante el método Delphi, analizando la opinión de expertos para identificar sus beneficios y limitaciones en la optimización de los procesos de validación técnica.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, donde se sintetizan los principales resultados obtenidos y se evalúa el cumplimiento de los objetivos planteados, proponiendo acciones para la implementación del sistema en proyectos constructivos.

La investigación contribuye al desarrollo de soluciones tecnológicas aplicadas al sector construcción, promoviendo una gestión más eficiente, transparente y confiable de la información en proyectos bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática

En el rubro de la construcción se producen constantemente nuevos retos que afectan la eficiencia y calidad de los proyectos. El 72% de las empresas afirma que sus proyectos han demorado más de lo planeado (AGC, 2022), mientras que, en países más desarrollados a nivel mundial, como Estados Unidos, se conoce que el retrabajo en el ámbito de la construcción representa hasta el 5% de los gastos del proyecto, equivalente a 1,3 billones de dólares, superando los 65 000 millones de dólares anuales en rectificaciones (Autodesk, 2022). Esta situación evidencia la necesidad de mejorar la transparencia en la gestión, sostenibilidad y las metodologías de trabajo para evitar errores y rectificaciones innecesarias.

El impulso de nuevas metodologías y herramientas como el Building Information Modeling (BIM), ha mejorado la coordinación y el modelado tridimensional. Sin embargo, aún persisten limitaciones en su uso, especialmente en la interpretación y seguridad automatizada de los datos. Los usuarios de una plataforma BIM están limitados al esquema que brinda la plataforma y no puede definir información que está fuera de este (Niknam & Karshenas, 2017). Además, entre los principales problemas identificados dentro de los programas BIM estudiados fueron la seguridad y transparencia de datos (Erri Pradeep et al., 2019). Y estos problemas constituyen un desafío relevante, especialmente en entornos donde la infraestructura digital es limitada (Nawari & Ravindran, 2019).

En el Perú, pese a los avances en la adopción de BIM impulsados por iniciativas del Estado y algunos sectores privados, su aplicación todavía se centra principalmente en el modelado tridimensional sin explotar al máximo la gestión inteligente de datos, los modelos se limitan a representar digitalmente componentes constructivos y estructurales, pero carecen de un significado contextual profundo que permita validar su coherencia con normativas, verificar su procedencia o realizar inferencias automáticas. Estas limitaciones son especialmente críticas en proyectos públicos que requieren control técnico continuo y transparencia documental.

Esta deficiencia se refleja en cifras concretas: a nivel nacional 220 obras públicas se encuentran paralizadas principalmente por expedientes deficientes y problemas de

supervisión (Contraloría General de la República [CGR], 2025). Estas limitaciones se ven agravadas por la falta de estandarización de protocolos de intercambio entre diferentes entornos BIM y a la limitada verificación técnica durante la ejecución de obras dificultando colaboraciones eficaces entre los diferentes participantes de los proyectos (Aguilar Zavaleta, 2024).

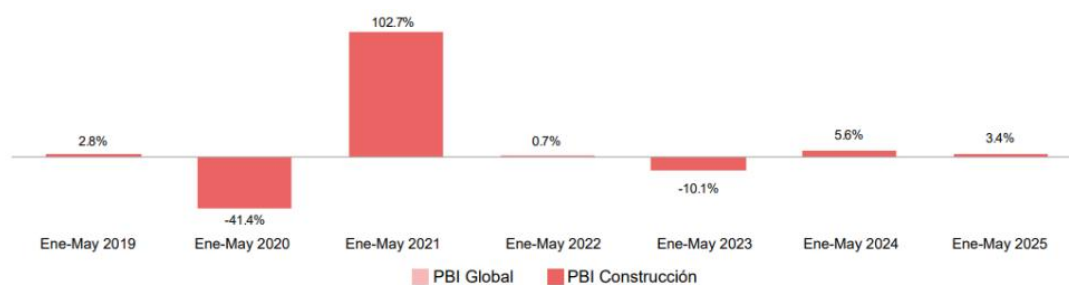
Dentro de este contexto, el país cuenta con modalidades de gestión comunitaria para obras públicas como el caso del Núcleo Ejecutor, modelo promovido por FONCODES (MIDIS), donde comités locales asumen responsabilidades como supervisar, organizar y ejecutar las obras, priorizando la participación comunitaria (Behr, 2024). Aunque este modelo fortalece la autogestión, aún presenta desafíos en la gestión técnica de la información, verificación constructiva y trazabilidad de datos durante la ejecución, lo que evidencia la necesidad de mecanismos digitales de validación.

En la región de Arequipa, el sector construcción ha mostrado un crecimiento notable, impulsado por inversiones públicas y privadas, con un aumento 4.9 %, debido al constante movimiento producido en la construcción de viviendas y obras públicas (Diario El Pueblo, 2025). No obstante, este crecimiento convive con problemas en la planificación, la eficiencia técnica y la transparencia en los procesos constructivos. Con 126 proyectos detenidos y que, valorizados en la cantidad de 7,579 mil millones, la región representa el 17.9 % del total de todo el Perú (CGR, 2025). Esta combinación de crecimiento constructivo y riesgos de gestión muestran la necesidad de mecanismos más sólidos de control y verificación, especialmente en proyectos ejecutados en zonas rurales bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor. Los proyectos ejecutados bajo esta modalidad como los del Programa Cuna Más en Caylloma y Castilla operan en zonas con supervisión técnica limitada, lo que incrementa el riesgo de errores, omisiones o discrepancia debido a la falta de mecanismos digitales de validación.

En este escenario, surge la necesidad de explorar soluciones que fortalezcan la verificación constructiva, la trazabilidad y la confiabilidad de la información en estos entornos comunitarios. Frente a esta problemática se plantea la siguiente interrogante: ¿De qué manera un sistema basado en Semantic BIM y tecnología blockchain podría reducir errores técnicos, retrabajos y riesgos de información inconsistente en los proyectos Cuna Más ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor en Arequipa?

Figura 1

Evolución del PBI sector construcción en el Perú



Nota. Adaptado de INEI Departamento de Estudios Económicos, 2025.

1.2. Justificación

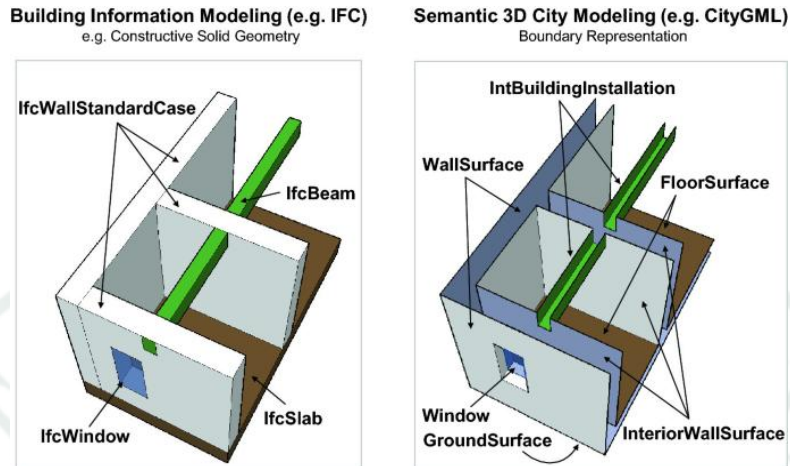
El rubro de la construcción desde siempre ha sido sensible a temas como son la corrupción, falta de transparencia, mala gestión de la información en los proyectos y muchos otros problemas. Ya existen tecnologías que ayudarán a mejorar en estas situaciones, pero si no son aprovechadas correctamente podrían causar el efecto contrario del que se desea.

La metodología BIM es realmente innovadora y en el Perú ya se está integrando poco a poco, pero aún está limitada. El MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento) realizó un análisis minucioso y dio a conocer que la aceptación de BIM en el país está aún en una etapa naciente. Se han reconocido varios retos, alguno de ellos es la baja o carente capacitación para la aplicación de la metodología y la necesidad de una mayor inversión en tecnología (Asencio, 2025).

No solo basta con utilizar un seguimiento de un plan BIM, sino que se debe estar al tanto de formas de optimizarlo. BIM debe utilizarse como una plataforma integral para proporcionar la información actualizada y precisa que requieren las partes interesadas en los proyectos de construcción. (Jiang *et al.*, 2023)

Figura 2

Modelado semántico en 3D



Nota. Adaptado de Kolbe y Donaubaue, 2021.

En este sentido, el poder incorporar en Perú el Semantic BIM que es una evolución del modelo que ya se conoce, permite enriquecer los modelos BIM con información que tenga significado estructurado y que sea entendible por las máquinas, es decir, todos los elementos modelados tendrán normativas asociadas, significados lógicos y de relación, será un cambio realmente beneficioso porque así se explotará más esta herramienta evitando quedarnos en lo más básico que nos puede ofrecer la tecnología. Además, se debe tener en cuenta que si bien la digitalización en el proceso de construcción está mejorando significativamente permitiendo una colaboración multidisciplinaria surgen retos en lo que respecta a la seguridad e integridad en los procesos digitales, Semantic BIM no debe ir solo, debe ir acompañado de alguna tecnología que garantice su transparencia y trazabilidad. Tecnologías como blockchain ya demostraron su gran potencial en cuanto a respaldar la autenticidad, trazabilidad e integridad de los datos en diversos rubros, y el de la construcción no es una excepción.

Estudios recientes han indicado que la BCT puede abordar los riesgos de piratería y ciberseguridad en sistemas de IoT y BIM (Mahmudnia *et al.*, 2022).

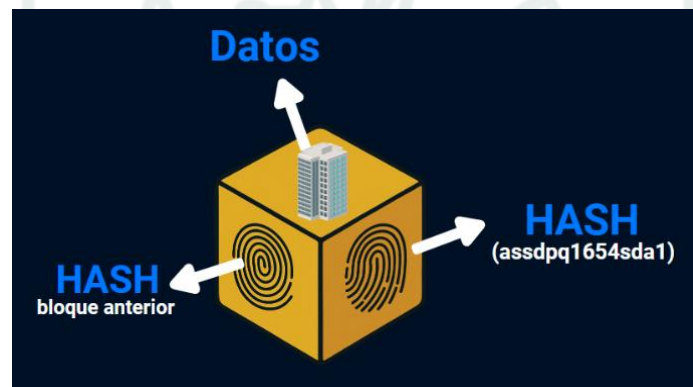
Si se logra utilizar los beneficios de Semantic BIM junto con los de blockchain para la construcción en Perú, se lograría un cambio notorio en el modo en que son diseñados, ejecutados y verificados los proyectos permitiendo un tipo de construcción más inteligente, automatizada, transparente y eliminando errores, permitiendo así romper las barreras de la corrupción y de los errores humanos que muchas veces han causado estragos cobrándose hasta vidas humanas. Una de las ventajas naturales de blockchain es

la colaboración, eficiencia, confianza y la complejidad en sus sistemas permitiendo complementarlo con BIM (Kassem & Li, 2022; Xu et al., 2024). Es por esto por lo que es muy probable que al integrar BIM con blockchain se tendrá un nuevo e innovador paradigma para una reforma digital en la industria de la construcción tanto ingeniería como arquitectura.

Ayudando a los expertos en ingeniería civil y estructural, los coordinadores de BIM, los departamentos técnicos, las organizaciones tanto públicas como privadas encargadas de la supervisión, así como a los alumnos e investigadores interesados en enfoques de gestión digital. De manera indirecta, los beneficiarios finales de las construcciones también obtendrán ventajas, ya que una validación más exacta y clara disminuye el peligro estructural y eleva la calidad del producto construido.

Figura 3

Blockchain en la construcción



Nota. Adaptado de Asencio, 2025.

1.2.1. Justificación social

Esta investigación generará un impacto social muy importante, ya que contribuirá a mejorar la confiabilidad, trazabilidad y transparencia en la ejecución de proyectos realizados mediante el sistema Núcleo Ejecutor. En este sistema, la participación de la sociedad en la gestión de recursos es fundamental, y al implementar un sistema de validación constructiva automatizada permitirá que la población logre tener proyectos más eficientes, evitando problemas de sobrecostos, retrasos y posibles actos de corrupción que muchas veces aquejan a los pobladores.

1.2.2. Justificación metodológica

El proyecto radica en una estrategia mixta, que combina la revisión documental de expedientes técnicos con la modelación digital mediante Semantic BIM y la implementación de un entorno local de registro blockchain. Este enfoque permite analizar las incoherencias técnicas y documentales de manera estructurada, verificando la eficiencia del sistema propuesto a través de la detección de errores, la trazabilidad de información y la validación de los datos constructivos.

La aplicación práctica de estas herramientas tecnológicas respalda la pertinencia del método, pues posibilita no solo diagnosticar las deficiencias de los proyectos, sino también demostrar experimentalmente la mejora en la consistencia técnica y la transparencia de la información, cumpliendo así con los principios de validez y confiabilidad requeridos en investigaciones de ingeniería aplicada.

1.2.3. Justificación ambiental

La construcción es una de las actividades que más recursos consume y mayor cantidad de residuos genera. En el Perú, los errores en expedientes técnicos, el retrabajo y la deficiente supervisión suelen incrementar este impacto, al producir un uso excesivo de materiales y energía.

La aplicación de Semantic BIM permite reducir estas ineficiencias al enriquecer los modelos con información técnica y normativa que evita modificaciones innecesarias en obra. De esta forma, se optimiza el uso de recursos y se disminuye la generación de residuos. A su vez, la integración con blockchain asegura la trazabilidad de materiales y procesos, favoreciendo el cumplimiento de criterios de sostenibilidad y fomentando prácticas constructivas más responsables.

De esta manera, la investigación no solo aporta a la transparencia y calidad técnica, sino que también contribuye a una gestión ambientalmente más sostenible de los proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor en Arequipa.

1.2.4. Justificación tecnológica

La integración de Semantic BIM y blockchain, como herramientas digitales avanzadas, permiten la implementación de un sistema de validación constructiva automatizada, que permite romper las barreras de los métodos tradicionales que eran hechos en base a registros físicos. En estos procesos se suele presentar problemas como

información dispersa, errores humanos o falta de confiabilidad en la información. Con este sistema se modernizan los procesos de gestión de proyectos. Garantizando transparencia, precisión y eficiencia en el manejo de datos.

1.2.5. *Justificación política e institucional*

El sistema contribuye a fortalecer la transparencia y minimización de los problemas de corrupción, al tener un mayor acceso y control de datos en tiempo real haciendo que cada cambio quede registrado como una huella inmutable. Así también, promueve la modernización de procesos de gestión fortaleciendo la capacidad de las instituciones de planificación, ejecución y supervisión.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. *Objetivo general*

O.G Proponer un sistema automatizado de validación constructiva, mediante la integración de Semantic BIM y blockchain, que permita mejorar la trazabilidad de los proyectos en modalidad de Núcleo Ejecutor en la ciudad de Arequipa.

1.3.2. *Objetivos específicos*

O.E.1 Analizar los últimos avances de los beneficios de integrar Semantic BIM y tecnología blockchain en la gestión de proyectos constructivos y determinar su aplicación en las problemáticas más comunes identificadas en el contexto arequipeño en modalidad de Núcleo Ejecutor.

O.E.2 Determinar una estructura semántica para los elementos del modelo BIM a partir de la aplicación de criterios de Semantic BIM como atributos técnicos, normativos y funcionales.

O.E.3 Desarrollar un sistema de registro de los resultados de validación estructural, obtenidos mediante la aplicación de criterios semánticos en un entorno BIM, que garantice su trazabilidad, integridad y verificación automatizada mediante la integración local de tecnología blockchain.

O.E.4 Identificar los beneficios y limitaciones del sistema de integración planteado para optimizar procesos de validación técnica basando las afirmaciones en la opinión de expertos.

1.4. Hipótesis

La integración de Semantic BIM y blockchain en un sistema de validación constructiva automatizada mejora significativamente la trazabilidad de la información y gestión técnica de los proyectos ejecutados bajo modalidad Núcleo Ejecutor en Arequipa-Perú.

1.5. Variables de la investigación

Según Hernández Sampieri et al. (2014), las variables de investigación pueden clasificarse en independientes y dependientes, en la **Tabla 1** se determinan la operacionalización de variables para esta investigación, acompañadas de sus dimensiones, subdimensiones e indicadores.

1.5.1. *Variable independiente*

- Propuesta de implementación de Semantic BIM y tecnología blockchain para validación automatizada de los procesos constructivos.

1.5.2. *Variable dependiente*

- Trazabilidad en la gestión de proyectos bajo modalidad Núcleo Ejecutor

1.6. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Propuesta de implementación de Semantic BIM y tecnología blockchain para validación automatizada de los procesos constructivos	Sistema que integra la estructuración semántica de modelos BIM mediante ontologías, reglas lógicas y validación automatizada de parámetros técnicos, funcionales y normativos, incorporando unas propuestas locales de registro inmutable basado en tecnología blockchain para asegurar trazabilidad e integridad de los resultados de validación.	Implementación de Semantic BIM	Estructuración semántica de modelos BIM	Definición de clases, propiedades y relaciones ontológicas
			Automatización de validación	- Vinculación semántica de atributos técnicos, funcionales y normativos - Número de reglas semánticas definidas - Número de parámetros validados automáticamente
		Propuesta de carácter local de registro blockchain	Integración local con flujo BIM	Nivel de coherencia semántica alcanzado
			Integración local con flujo BIM Modelo de almacenamiento	Definición de campos mínimos para trazabilidad (ID, norma, regla, resultado, timestamp)

				- Definición de campos mínimos para trazabilidad (ID, norma, regla, resultado, timestamp). - Modelo de carácter local de almacenamiento inmutable
Variable Dependiente: Trazabilidad en la gestión de proyectos bajo modalidad Núcleo Ejecutor	Capacidad de registrar, dar seguimiento y verificar la información técnica generada durante la validación constructiva, permitiendo identificar los resultados obtenidos, su organización estructurada y su consulta dentro del proceso del proyecto. Esta formulación se alinea con el objetivo general e hipótesis de mejora de la trazabilidad en proyectos bajo modalidad de Núcleo Ejecutor.	Registro de información técnica	Estructuración de resultados de validación	Registro estructurado de resultados de validación
		Seguimiento de la información validada	Identificación del resultado registrado	Existencia de trazabilidad por elemento evaluado
			Control de resultados emitidos	Disponibilidad de resultados de validación para seguimiento
			Consulta de información validada	Acceso a la información registrada del proceso de validación
		Confiabilidad de la información técnica	Integridad de resultados	Integridad de resultados de validación
			Consistencia de la información	Consistencia entre resultados de validación y elementos evaluados

Nota. Determinar las variables nos permite delimitar los elementos que serán estudiados y que nos permitirán medirlos, analizarlos y establecer relaciones entre los diferentes elementos de la investigación.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

Se presenta la sistematización de la información recopilada, la cual permitió profundizar en el conocimiento del tema, determinar el estado del arte de la investigación e identificar las brechas de conocimiento existentes, así como precisar el enfoque del problema planteado. Se identificaron las metodologías empleadas por diversos autores para desarrollar investigaciones relacionadas con la integración de Semantic BIM y tecnología blockchain. Asimismo, se analizaron los obstáculos y limitaciones que cada investigador enfrentó durante el desarrollo de sus estudios, lo que permitió evaluar la efectividad y accesibilidad de las herramientas para su potencial aplicación en la presente investigación. En la **Tabla 2** Se consideraron antecedentes a nivel internacional con el fin de conocer los avances más recientes en el campo, así como en la **Tabla 3** se consideró los antecedentes nacionales para comprender el contexto peruano y el nivel de desarrollo alcanzado en esta área.

2.1.1. Contexto internacional

Tabla 2

Estado del arte de la investigación en el contexto internacional

CONTEXTO INTERNACIONAL				
ID	Autor	Relevancia	Métodos	Tipo
1	(Jiang et al., 2023)	Presentación de métodos de semántica en BIM, así como contenido y aplicaciones para las diferentes etapas de construcción	- Análisis bibliométrico luego de un mapeo bibliográfico.	M1
2	(Erri Pradeep et al., 2019)	Análisis de los desafíos en el intercambio de información BIM y como optimizarlo con las ventajas que proporciona la Tecnología blockchain (BCT).	- Revisión de la literatura sobre ventajas de integración de Tecnología blockchain a BIM.	M2
3	(Erri Pradeep et al., 2021)	Uso de la tecnología blockchain para el control de responsabilidades y seguridad en la información de construcción (BIM).	- Revisión de literatura - Elaboración de programación para la validación de modelos locales de procesos que puedan beneficiarse con blockchain.	M2 M3
4	(Borkowski & Maroń, 2024)	Importancia del enriquecimiento semántico de datos no gráficos para los modelos BIM en sus diferentes modelos de la estructura para gestiones eficaces.	- Recopilación de documentación en relación con los recursos materiales. - Uso del programa Autodesk Revit para el modelado. - Uso de BricsCAD BIM, BIMVision, y Autodesk Tandem para validación de resultados.	M4 M5 M6

5	(Massafra et al., 2024)	Mejoramiento de la interoperabilidad, rápida digitalización y estandarización semántica para la creación de representaciones digitales.	- Modelado BIM en Autodesk Revit - Creación de modelos TBIM mediante Topologicpy dentro de PyRevit.	M5 M7
6	(Celik et al., 2023)	La investigación explora la evolución, aplicaciones y limitaciones del uso de semántica en modelos BIM, abordando su impacto en las diferentes etapas del periodo de vida de los proyectos constructivos.	- Revisión de la literatura sobre ventajas de integración de Tecnología blockchain a BIM.	M3
7	(León Pineda, 2024)	Destaca el impacto transformador de la combinación de BIM y blockchain en el sector de la construcción. Resalta cómo esta combinación puede mejorar significativamente la colaboración, la trazabilidad, la transparencia y la confianza entre los agentes del proyecto.	- Investigación cualitativa que se basa en la revisión bibliográfica - Se analiza los grandes beneficios de los contratos inteligentes, la gestión documental	M2 M4
8	(Rivas Di Geronimo, 2019)	Explora la integración de metodología BIM y tecnología blockchain para mejorar la trazabilidad, transparencia y eficacia en la construcción. Resalta el potencial de los <i>Smart contracts</i> o contratos inteligentes y entornos de datos descentralizados.	- Investigación cualitativa fundamentada en revisión bibliográfica. - Entrevistas a expertos del tema para analizar casos, usos y beneficios de la tecnología integrada en la industria.	M2 M8
9	(Santos et al., 2008)	Análisis del método Delphi para el área de la construcción como un método de consenso entre expertos para temas complejos.	- Aplicación del método Delphi.	M8

10	(Xue & Lu, 2020)	Enfoque SDT (análisis de transacción semántica) para optimizar el intercambio de información al integrar BIM y blockchain.	- Cálculos de cambios semánticos BIM minimizando la redundancia de información. - Mapeo de BIM en blockchain y viceversa.	M7 M6
11	(Chung et al., 2022)	La integración de Semantic BIM y tecnología blockchain puede optimizar el estado actual de BIM.	- Análisis sistemático de información para comprender las limitaciones y recomendaciones.	M1
12	(Hijazi et al., 2021)	Desarrolla una justificación sistemática para integrar metodología BIM y tecnología blockchain en la cadena de suministro de construcción, proponiendo un modelo de entrega digital confiable (RDD).	- Revisión sistemática de literatura y discusión en grupo focal.	M1
13	(Liu et al., 2019)	Explora el posible potencial de integrar BIM y blockchain para la gestión de información en el diseño sostenible de edificios.	- Revisión de literatura y propuesta de marco conceptual.	M2
14	(Wang et al., 2022)	Presenta un modelo de diseño colaborativo multiusuario de dibujos BIM basado en blockchain e IPFS fiabilidad de los datos de diseño.	- Desarrollo de modelo y validación mediante programación.	M6
15	(Ye et al., 2022)	Revisa sistemáticamente el uso de contratos inteligentes en el sector de la construcción, destacando su integración con BIM y blockchain.	- Revisión sistemática de literatura.	M1

Nota: Investigación y clasificación de metodologías utilizadas por autores internacionales.

2.1.2. Contexto peruano

Tabla 3

Estado del arte de la investigación en el contexto peruano

CONTEXTO PERUANO				
ID	Autor	Relevancia	Métodos	Tipo
1	(Peralta Delgado & Cárdenas Velásquez, 2020)	Difundir el uso de tecnología blockchain en entidades públicas o privadas.	- Búsqueda sistemática de información	M1
2	(Aguilar Zavaleta, 2024)	Dificultades que afrontan las empresas constructoras para adoptar la metodología BIM teniendo un gran impacto social	- Revisión de literatura - Entrevista a expertos	M2 M9
3	(Bardales et al., 2023)	Ventajas y desventajas de la implementación de la metodología BIM y dar a conocer las experiencias de implementación en otros países.	- Revisión de literatura	M2
4	(Rojas Córdova et al., 2023)	Destaca como las tecnologías de la Industria 4.0 pueden optimizar los procesos de diseño, ejecución, planificación y gestión de proyectos de construcción.	- Análisis del estado del arte y revisión teórica de las aplicaciones de la tecnología 4.0 (big data, IoT, IA, modelados BIM) en la construcción	M2

Nota: Investigación y clasificación de metodologías utilizadas por autores peruanos.

A partir de la revisión del estado del arte en el contexto internacional se identificó que ya se realizaron estudios donde integran BIM con la tecnología blockchain principalmente a nivel local, marco teórico o prototipos experimentales. Sin embargo, la mayoría de los estudios se centran en las etapas de diseño o gestión documental, presentando limitadas aplicaciones prácticas durante la fase de ejecución de obras, especialmente en contextos donde es necesario una verificación constructiva continua, control de calidad de la información y la trazabilidad de decisiones técnicas. Así también, se evidencia la ausencia de una normativa sólida que respalda el uso de esta tecnología provocando inestabilidad en la comunicación nacional e internacional.

En el contexto peruano, los estudios revisados muestran avances en lo que respecta a la adopción de metodología BIM y, de forma separada, estudios teóricos sobre el uso de la tecnología blockchain en la construcción. No obstante, una brecha significativa en la integración conjunta de Semantic BIM y blockchain aplicada a la ejecución de obras públicas particularmente bajo modalidades de gestión comunitaria como el Núcleo Ejecutor. Asimismo, tampoco se identifican investigaciones aplicadas que aborden la validación constructiva automatizada, trazabilidad de información técnica y la reducción de errores durante la ejecución de proyectos en regiones como Arequipa, donde existen varias limitaciones de supervisión técnica y altos riesgos de inconsistencias informativas. Este análisis de las brechas identificadas evidencia la necesidad de desarrollar un sistema innovador de validación constructiva para proyectos ejecutados bajo modalidad de Núcleo Ejecutor. Finalmente, se observa la falta de adaptación a la tecnología en la construcción debido a una mayor complejidad para su entendimiento por lo que se necesitan de profesionales capacitados para su correcto dominio.

Después de investigar y organizar la información relevante de fuentes confiables, se han clasificado los métodos utilizados por cada autor agrupándolos según sus diferencias y similitudes y se han codificado para que puedan ser utilizados como parte de la estructuración de esta investigación, se han distribuido de la siguiente forma:

M1: Mapeo bibliográfico

M2: Revisión de literatura

M3: Prototipos para la integridad de datos mediante blockchain

M4: Análisis documental técnico - normativo

M5: Modelamiento BIM en Revit

M6: Validación de resultados en programa

M7: Enriquecimiento semántico de los modelos BIM

M8: Método Delphi

M9: Entrevista a expertos



2.2. Bases conceptuales

2.2.1. *Building Information Modeling (BIM)*

Building Information Modeling (BIM), conocido como una metodología o también considerado una filosofía de trabajo que permite crear, gestionar y compartir modelos digitales de construcción enriquecidos con información gráfica y no gráfica. Su principal característica es que centraliza los datos del proyecto en un entorno digital común, facilitando la colaboración interdisciplinaria y reduciendo errores derivados de la fragmentación informativa (Eastman et al., 2018).

2.2.2. *Modelo BIM paramétrico*

El modelo BIM paramétrico se caracteriza por la representación de los elementos constructivos mediante parámetros que describen sus propiedades geométricas, físicas y técnicas. Estos parámetros permiten que los objetos del modelo no sean simples entidades gráficas, sino componentes inteligentes capaces de reaccionar a cambios y mantener coherencia entre sus atributos (Ribeiro & César Júnior, 2021).

La parametrización facilita la extracción, análisis y reutilización de información técnica, constituyéndose en la base para procesos de automatización, validación y control dentro del entorno BIM

2.2.3. *Revit*

Su nombre completo es Autodesk Revit, y es un programa especializado en modelado digital de la información para la construcción (BIM), que permite desarrollar representaciones digitales tridimensionales de edificaciones, integrando datos técnicos, constructivos y funcionales. Su entorno paramétrico facilita la coordinación entre disciplinas (arquitectura, estructura e instalaciones) y permite que cualquier modificación se actualice automáticamente en todo el modelo. Revit es fundamental en proyectos donde se requiere una gestión precisa de información técnica, siendo compatible con flujos de trabajo como el Semantic BIM y procesos de validación automatizada (Alpala Camuendo, 2025).

2.2.4. *Semantic BIM*

Según Dinis et al. (2021), el BIM semántico representa una evolución del BIM tradicional al incorporar significado explícito a los datos del modelo mediante estructuras formales que describen conceptos, relaciones y restricciones. En este enfoque, los

elementos constructivos no solo contienen valores y propiedades, sino que están contextualizados dentro de un marco de conocimiento que permite interpretar su función, comportamiento y relación con otros elementos. Esta capacidad de dotar de significado a la información habilita procesos avanzados como el razonamiento automático, la validación normativa y la interoperabilidad entre sistemas, ampliando el alcance del BIM más allá de la representación geométrica.

2.2.5. Ontologías

Según Suermann (2021), las ontologías constituyen una base conceptual para la organización y formalización del conocimiento de un dominio específico. En el ámbito de la construcción, una ontología permite definir de manera estructurada los conceptos, propiedades y relaciones que describen los elementos constructivos y sus requisitos técnicos. El uso de ontologías facilita la interpretación compartida de la información, reduce ambigüedades y permite que los sistemas computacionales realicen inferencias lógicas sobre los datos (Jiang et al., 2022). En el contexto del BIM semántico, las ontologías actúan como el soporte conceptual que posibilita la automatización de procesos de validación y análisis.

2.2.6. Reglas semánticas y razonamiento automático

Las reglas semánticas son expresiones lógicas que permiten formalizar requisitos técnicos y normativos de manera que puedan ser interpretados y ejecutados por sistemas computacionales. Estas reglas establecen condiciones de cumplimiento basadas en relaciones, atributos y contextos definidos previamente en estructuras semánticas. El razonamiento automático consiste en la capacidad del sistema para evaluar dichas reglas sobre un conjunto de datos estructurados, identificando incumplimientos, inconsistencias o conformidades sin intervención humana (Villablanca Villa, 2022). Este enfoque resulta esencial para la validación técnica automatizada en entornos BIM.

2.2.7. Validación constructiva automatizada

La validación constructiva automatizada es un proceso mediante el cual se verifica el cumplimiento de requisitos técnicos y normativos utilizando sistemas digitales capaces de evaluar información estructurada de forma sistemática, objetiva y reproducible. A diferencia de las revisiones manuales, este enfoque permite ejecutar verificaciones consistentes sobre grandes volúmenes de datos, reduciendo errores humanos y mejorando la confiabilidad del control técnico (García Alvarado et al., 2025). En el contexto de

modelos BIM enriquecidos semánticamente, la validación automatizada se apoya en reglas explícitas y estructuras de conocimiento que permiten interpretar el significado de los elementos constructivos evaluados.

2.2.8. Trazabilidad de la información técnica

La trazabilidad de la información técnica se refiere a la capacidad de registrar, rastrear y reconstruir el historial de los datos y decisiones asociadas a un proyecto de construcción. Este concepto implica conocer el origen de la información, las modificaciones realizadas, los responsables involucrados y los resultados obtenidos en cada etapa del proceso. La trazabilidad es fundamental para garantizar la transparencia, la rendición de cuentas y la posibilidad de auditoría técnica, especialmente en proyectos públicos donde el control y la confiabilidad de la información son aspectos críticos (Bonilla Paredes, 2024).

2.2.9. Blockchain

La tecnología blockchain es un sistema de registro distribuido que permite almacenar información de manera permanente, segura y verificable mediante el encadenamiento de bloques protegidos criptográficamente. Según Huynh-The et al. (2023), cada bloque contiene un conjunto de registros y una referencia al bloque anterior, lo que impide la alteración de la información sin dejar evidencia. Más allá de su uso en aplicaciones financieras, blockchain se ha consolidado como una tecnología adecuada para garantizar la integridad y autenticidad de datos en contextos donde la confianza, la transparencia y la trazabilidad son esenciales.

2.2.10. Función Hash Criptográfica

Una función hash criptográfica es un algoritmo matemático que transforma un conjunto de datos de cualquier tamaño en una cadena de caracteres de longitud fija, denominada huella digital o hash. Estas funciones presentan propiedades de irreversibilidad y sensibilidad a los cambios, lo que significa que cualquier modificación, incluso mínima, en los datos de entrada produce un resultado completamente diferente.

2.2.11. Bloque y Cadena de Bloques

En la tecnología blockchain, la información se organiza en unidades denominadas bloques, los cuales contienen un conjunto de registros, una marca temporal y una referencia criptográfica al bloque anterior mediante una función hash. Este mecanismo

permite que los bloques se conecten secuencialmente formando una cadena de bloques o blockchain. Esta estructura encadenada garantiza que cualquier modificación en un bloque altere su hash y, en consecuencia, rompa la coherencia de toda la cadena, lo que facilita la detección inmediata de alteraciones en los registros almacenados.

En aplicaciones de gestión de información, como las relacionadas con entornos BIM, este principio permite registrar datos técnicos de forma inmutable y verificable, fortaleciendo la confiabilidad de los procesos de control, validación y trazabilidad de la información.

2.2.12. *Protégé*

Es una herramienta de código abierto que permite la edición y desarrollo de ontologías, creada por la Universidad Stanford y orientada al desarrollo de sistemas inteligentes (Paz Marcos, 2025). Está respaldada por una amplia comunidad de usuarios del ámbito académico, gubernamental y corporativo. Posee un sistema de gestión del conocimiento mediante la realización de deducciones que validan la consistencia de los modelos e infiere nueva información en base al análisis de la ontología propuesta.

2.2.13. *Interoperabilidad de datos*

La interoperabilidad de datos se refiere a la capacidad de distintos sistemas y plataformas de intercambiar información de manera estructurada, coherente y sin pérdida de significado. En entornos BIM y de validación automatizada, la interoperabilidad se logra mediante el uso de formatos abiertos y estandarizados, como JSON, que permiten la transferencia de atributos, resultados y metadatos entre herramientas especializadas Alpala Camuendo (2025). Este principio resulta clave para integrar modelos BIM, motores de validación, sistemas de registro y plataformas de análisis, asegurando la continuidad y consistencia de la información.

2.2.14. *PyRevit*

PyRevit es una herramienta de extensión para Autodesk Revit, basada en el lenguaje Python, que permite personalizar y automatizar procesos dentro del entorno BIM (Bakerman, 2025). A través de scripts, el usuario puede modificar parámetros, crear flujos de trabajo personalizados, o implementar funciones avanzadas como la asignación semántica de elementos constructivos. Es especialmente útil para proyectos que requieren una estructuración técnica precisa y dinámica del modelo.

2.2.15. *Smart Contract*

Los contratos inteligentes son programas informáticos que se ejecutan automáticamente en una red blockchain cuando se cumplen condiciones previamente definidas. Su principal característica es que permiten registrar y ejecutar reglas de forma objetiva, verificable e inmutable, sin depender de intermediarios ni de interpretaciones subjetivas.

Según Taherdoost (2023), en el ámbito de la construcción, los contratos inteligentes pueden utilizarse como mecanismos lógicos para registrar eventos técnicos, como resultados de validación, aprobaciones o estados de cumplimiento.

En esta investigación, los contratos inteligentes se emplean desde un enfoque local, como estructuras que determinan cuándo los resultados de validación constructiva obtenidos desde modelos BIM semánticos deben ser registrados en blockchain, fortaleciendo así la trazabilidad, transparencia y confiabilidad de la información técnica.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. *Trazabilidad en Proyectos de Construcción*

La trazabilidad en los proyectos de construcción se refiere a la capacidad de registrar, identificar y rastrear de manera sistemática la información técnica generada a lo largo del ciclo de vida del proyecto, permitiendo conocer el origen, estado y evolución de los elementos constructivos y de las decisiones asociadas a estos. Este enfoque resulta fundamental para garantizar la transparencia, la responsabilidad técnica y la confiabilidad de la información utilizada en los procesos de control y supervisión de obras.

Según Wu et al. (2023), la trazabilidad permite fortalecer el control técnico de los proyectos mediante el registro verificable de los datos generados durante las distintas etapas constructivas, reduciendo la dependencia de registros manuales y minimizando errores derivados de la interpretación subjetiva de la información. En el ámbito de la construcción, la trazabilidad se asocia directamente con la capacidad de auditar decisiones técnicas, validar el cumplimiento normativo y reconstruir el historial de modificaciones de un proyecto.

Davari et al. (2023) señalan que la ausencia de mecanismos estructurados de trazabilidad genera fragmentación de la información y dificulta la verificación posterior

del cumplimiento técnico, lo cual incrementa el riesgo de inconsistencias y conflictos durante la ejecución y supervisión de las obras.

2.3.2. Relevancia de la trazabilidad en proyectos vía Núcleo Ejecutor

En el contexto de proyectos públicos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor, la trazabilidad adquiere una importancia crítica debido a la participación directa de actores comunitarios en la gestión y ejecución de las obras. Romero y Esenarro (2024) identifican que uno de los principales problemas en este tipo de proyectos es la limitada capacidad técnica para documentar y verificar adecuadamente los procesos constructivos, lo que puede derivar en deficiencias en el control de calidad y en la rendición de cuentas.

García-López y Fischer (2024) indican que la falta de herramientas digitales estructuradas dificulta el seguimiento técnico de los elementos constructivos, especialmente en lo relacionado con el cumplimiento normativo y la verificación de especificaciones técnicas. En este contexto, la trazabilidad no solo cumple una función documental, sino que se convierte en un mecanismo de control técnico que permite respaldar las decisiones tomadas durante la ejecución de la obra.

La implementación de sistemas que permitan registrar de forma objetiva y verificable los resultados de validación técnica contribuye a mejorar la transparencia, reducir la discrecionalidad y fortalecer la confianza entre las entidades ejecutoras, supervisores y beneficiarios del proyecto.

2.3.3. Building Information Modeling (BIM): beneficios y limitaciones

Building Information Modeling (BIM) se define como un proceso digital basado en modelos tridimensionales que permite la creación, gestión y uso de información integrada sobre los aspectos físicos y funcionales de un proyecto de construcción a lo largo de su ciclo de vida. A diferencia de métodos tradicionales basados en planos 2D y documentación fragmentada, BIM integra datos de diseño, construcción y operación en un único modelo coherente, facilitando una visión compartida del proyecto entre todos los actores involucrados y promoviendo una coordinación más efectiva que reduce errores, retrabajos y costos inesperados (Ni et al., 2021). Estudios recientes muestran que BIM no solo mejora la visualización y planificación del proyecto, sino que también favorece la toma de decisiones colaborativas y la gestión de la información en tiempo real (Liu et al., 2024), al permitir que los equipos de diseño, construcción y operación trabajen sobre una representación digital única y actualizada del activo construido (Khattra & Jain,

2024). Además, la literatura contemporánea destaca que las aplicaciones de BIM se han extendido más allá del diseño inicial, siendo útil también para la coordinación interdisciplinaria, el control de interferencias, la mejora de cronogramas y presupuestos, así como para la gestión de activos durante la fase de operación, lo que subraya su carácter integral y su papel central en la transformación digital de la industria de la construcción (Ni et al., 2021). En suma, BIM constituye una metodología fundamental para optimizar procesos, mejorar la calidad y facilitar la gestión de proyectos complejos, constituyéndose en un habilitador tecnológico clave dentro de los enfoques modernos de ingeniería y construcción. Sin embargo, el BIM tradicional presenta limitaciones cuando se utiliza únicamente como un contenedor de información, ya que los datos almacenados no siempre poseen un significado formal que permita su interpretación automática. Esta limitación dificulta la validación sistemática de requisitos normativos y la interoperabilidad semántica entre diferentes sistemas.

2.3.4. Evolución del BIM hacia modelos semánticos

El BIM ha cambiado de describir geometría a representaciones formales. Bloch (2022) analiza esta evolución e identifica una agenda de investigación que vincula métodos de enriquecimiento con casos de uso. Captura la necesidad de relaciones topológicas, funcionales y regulatorias. Según Dinis et al. (2021), las ontologías y las tecnologías semánticas se adoptaron por la necesidad de ampliar los esquemas tradicionales a la representación de conocimientos complejos y a la interoperabilidad. Por lo demás, debe destacarse que esta evolución desplaza el énfasis del archivo al ecosistema de datos, donde el contexto, definiciones, restricciones y reglas, son tan relevantes como la forma en el apoyo a las consultas expresivas y a las validaciones automáticas.

La creación de prácticas de control y aseguramiento ha necesitado modelos completamente semánticos. En ese sentido, Nisbet et al. (2024) indican que la corrección y el enriquecimiento semántico son fundamentales cuando el modelo funciona como documento contractual o como soporte de aprobación regulatoria. Wang et al. (2024) indican que la inferencia de semántica perdida durante los intercambios y su organización en gráficos y entornos de datos comunes restaura el significado y facilita flujos automáticos. El resultado es un BIM más resistente a las transformaciones, que puede mantener la intención de diseño y los requisitos, y responder a consultas que van más allá de la geometría.

La expansión hacia ecosistemas de múltiples escalas y dominios ha consolidado el cambio semántico. Teclaw et al. (2024) demuestran que la federación de gráficos de BIM en diferentes dominios permite integrar las operaciones, el mantenimiento y la energía a través de un lenguaje común. Esta trayectoria histórica asegura que el BIM semántico es la primera condición para la digitalización avanzada del entorno construido, ya que permite la gobernanza de datos, la reproducibilidad del análisis y la automatización a gran escala.

2.3.5. BIM Semántico (*Semantic BIM*)

El BIM Semántico representa una evolución del BIM tradicional al incorporar significado explícito a los datos del modelo mediante el uso de ontologías y tecnologías de la web semántica. Según Bloch (2022), el enriquecimiento semántico permite estructurar la información del modelo no solo en términos de propiedades, sino también mediante relaciones y reglas que describen el contexto y el comportamiento esperado de los elementos constructivos.

Una investigación reciente destaca que la semántica en BIM a través del uso de tecnologías como ontologías y web semántica permite superar las limitaciones de los modelos centrados sólo en datos gráficos, facilitando razonamientos automatizados y verificación más profunda de requisitos (Qin & Ren, 2025). Además, enfoques híbridos que combinan reglas y aprendizaje automático han demostrado que es posible enriquecer modelos BIM con información semántica distribuida y utilizable para chequeos de cumplimiento normativo automático (Karmakar & Delhi, 2025). En este contexto, BIM se transforma en un repositorio de conocimiento estructurado que no solo describe objetos físicos, sino que también soporta inferencia lógica y evaluación automatizada de requisitos técnicos, lo cual es fundamental para proyectos integrados con sistemas de validación normativa y tecnologías emergentes como blockchain.

Dinis et al. (2021) sostiene que las ontologías proporcionan un marco formal para organizar el conocimiento del dominio, permitiendo la definición clara de conceptos, propiedades y relaciones, lo que facilita el razonamiento automático y la interoperabilidad entre sistemas. En el ámbito de la construcción, el BIM semántico permite relacionar los elementos del modelo con requisitos normativos, restricciones técnicas y criterios funcionales.

Nisbet et al. (2024) demuestran que la codificación semántica de requisitos normativos hace posible la automatización de procesos de verificación, al transformar las normas técnicas en reglas legibles por máquina que pueden ser evaluadas directamente sobre el modelo BIM.

A su vez, Wang et al. (2024) innovan en la propuesta de un marco de enriquecimiento genérico que, a partir de geometría y metadatos mínimos, usa la inferencia para incrementar y organizar atributos faltantes en diagramas para sostener aplicaciones inteligentes. Al cambiar el enfoque de "objetos con propiedades" a "entidades con significado y contexto", el BIM semántico permite un mayor control sobre la calidad, la trazabilidad y el gobierno de los datos, además de reducir las fricciones entre las plataformas y las diferentes disciplinas.

Teclaw et al. (2024) discuten la integración a escalas de edificios y ciudades, mostrando cómo los gráficos de conocimiento abordan problemas de interoperabilidad, alineación de vocabulario y consolidación de consultas complejas

Este marco permite la integración de modelos de instalaciones con redes urbanas, regulaciones y sensores, lo que facilita la coordinación multidominio. Así, el BIM semántico ya no se mantiene como un objetivo final, sino que sirve como la infraestructura de datos para la automatización de decisiones basadas en evidencia y análisis de alto valor.

2.3.6. Aplicaciones de Semantic BIM en automatización de procesos

Cuando se trata de Validación de Normas, BIM semántico permite la codificación de reglas y la comparación automática con el modelo, por ejemplo, a través del enfoque de la marca RASE, convirtiendo las expectativas de calidad y la regulación en estándares operativos (Nisbet et al., 2024). Wang et al. (2024) también demostraron que el enriquecimiento semántico genérico podría ayudar a identificar e ignorar incongruencias en las reglas al encubrir la finalización de atributos y la aparición de la intención de informes inteligentes, que minimizaron los tiempos de aprobación de dichos documentos y, por lo tanto, su riesgo asociado de no conformidad.

BIM semántico se encarga del proceso de automatización para preguntas complejas e interacción confiable en la plataforma. Yin et al. (2023) indican que las preguntas en lenguaje natural que están respaldadas por ontologías proporcionan respuestas precisas que son útiles en la verificación y control. Por otro lado, Jia et al.

(2024) muestran que la integración de la ontología permite flujos automáticos de datos en las operaciones y el mantenimiento en casi tiempo real donde el modelo y las capas de gestión y los sensores están conectados.

2.3.7. Validación constructiva automatizada basada en reglas semánticas

La validación constructiva automatizada consiste en la verificación sistemática del cumplimiento de requisitos técnicos y normativos mediante la comparación entre los atributos del modelo BIM y los criterios establecidos en las normas aplicables. Este proceso se basa en la definición de reglas lógicas que permiten evaluar si un elemento cumple o no con los parámetros exigidos.

Wang et al. (2024) destacan que el uso de reglas semánticas permite detectar inconsistencias de manera objetiva y reproducible, reduciendo la dependencia de revisiones manuales y mejorando la confiabilidad del proceso de control técnico. En este enfoque, cada elemento constructivo es evaluado de forma individual, generando resultados claros de cumplimiento o no cumplimiento.

Este tipo de validación resulta especialmente útil en proyectos públicos, donde la verificación normativa debe ser transparente, trazable y sustentable técnicamente.

2.3.8. Limitaciones en los sistemas de control y validación constructiva

Los sistemas actuales de control constructivo enfrentan limitaciones que incluyen la falta de sistemas de integración tecnológica que permiten el registro inmutable y verificable de información. Según Wu et al. (2023), las plataformas básicas carecen de marcos sólidos de autenticación y seguimiento, que es lo que garantiza la trazabilidad efectiva y sin conflictos de los procesos de control de calidad. En la misma línea, Davari et al. (2023) argumentan la falta de marcos normativos específicos, junto con la complejidad operativa de los proyectos a gran escala, en la construcción del control de auditoría y limitan el sistema robusto de trazabilidad de control que debería estar integrado en la funcionalidad y controlar la complejidad intrínseca de las fases de construcción.

Otro tema importante para considerar es la falta de voluntad para cambiar y la capacitación insuficiente brindada al personal técnico y administrativo. Si bien existe cierta trazabilidad colaborativa digital disponible, la falta de habilidades digitales y la

reticencia de las organizaciones a cambiar sus prácticas tradicionales contribuyen a bajos niveles de adopción (Sáez et al., 2023).

En la misma línea, Takao et al. (2025) advierten que la continua dependencia de los registros manuales y los bajos niveles de automatización aumentan los márgenes de error, mientras que la incapacidad para recuperar información histórica confiable impacta negativamente en la eficiencia operativa y la calidad de la construcción gerencial.

2.3.9. Tecnología blockchain en la Construcción

La tecnología *blockchain* se entiende como una tecnología de libro mayor distribuido que registra de manera permanente y certificable las transacciones. Ha sido utilizado para apoyar principalmente la trazabilidad de datos y activos de extremo a extremo en proyectos de construcción. Como explican Nawari y Ravindran (2019), la tecnología blockchain conecta bloques de registros utilizando técnicas criptográficas, y consenso entre los nodos, eliminando así por completa la necesidad de intermediarios para autenticar los bloques. Para respaldar esto, Mahmudnia et al. (2022) sostienen que la convergencia con BIM minimiza la fricción en la documentación y coordinación. Es decir, hace posible que los canales de aprobación, versionados y pagos crucen sobre mangas certificables. Por lo tanto, desplaza la confianza del interesado clave al protocolo auditable para blockchain, ayudando a aliviar la asimetría de información y mejorar la gobernanza de datos en el ciclo de vida de los activos construidos.

En el sector AEC, la prueba de concepto ha sido reemplazada por tener la configuración del sistema, gestión, automatización y arquitectura de adopción de procesos integrada.

Yang et al. (2020) señalan que cualquier red, ya sea pública o privada, puede adaptarse a marcos de interoperabilidad, firma de documentos, verificación de ciertos indicadores, todo mientras se mantiene un equilibrio entre apertura, rendimiento y confidencialidad. Yang et al. (2020) muestran cómo organizaciones o consorcios públicos o privados pueden diseñar su implementación de blockchain basada en marcos de interoperabilidad, firma de documentos, rendimiento de ciertos indicadores y verificación de ciertas evidencias.

Este proceso técnico de integración culmina en registros compartidos confiables, auditorías eficientes y reducción de reprocesos entre contratistas, supervisores y propietarios. Además, Heydari y Shojaei (2025) enfatizan los beneficios para las cadenas

de suministro como la autenticidad de los materiales, la visibilidad monetaria y la reducción de falsificaciones con tokens y contratos inteligentes. Cuando las organizaciones combinan datos de certificados de calidad con reglas ejecutables, pueden acelerar el cierre de etapas, automatizar el pago por condiciones y mantener un historial verificable de cumplimiento técnico, financiero y ambiental.

2.3.10. Blockchain como mecanismo de trazabilidad de información

La tecnología blockchain es un sistema de registro distribuido que permite almacenar información de manera inmutable y verificable. Nawari y Ravindran (2019) explican que blockchain permite registrar transacciones o eventos mediante el encadenamiento de bloques protegidos criptográficamente, garantizando que la información registrada no pueda ser alterada sin dejar evidencia.

En el contexto de esta investigación, la tecnología blockchain no se emplea como un sistema financiero ni como una plataforma de ejecución de contratos inteligentes, sino como un mecanismo de integración local de registro inmutable de los resultados de validación técnica. Este enfoque permite asegurar la integridad y trazabilidad de la información generada durante el proceso de validación constructiva.

Yang et al. (2020) señalan que las redes blockchain pueden ser utilizadas tanto en entornos públicos como privados, adaptándose a las necesidades de control, acceso y verificación de información técnica, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de trazabilidad en proyectos de construcción.

2.3.11. Aplicaciones en la industria AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción)

- Gestión de la cadena de suministro y adquisiciones:

Como se describe en Heydari y Shojaei (2025), el caso de uso más importante es la trazabilidad de materiales desde su origen hasta la instalación. Al registrar certificados, lotes y transferencias en la cadena de bloques, las organizaciones pueden evitar fraudes, facilitar conciliaciones y optimizar el capital de trabajo a través de una visibilidad financiera conjunta. Al mismo tiempo, Kim et al. (2020) describieron mejoras en las licitaciones y compras: las ofertas pueden ser selladas, abiertas y evaluadas de manera verificable, y la evaluación es transparente a través de evidencia inmutable. Cuando se vinculan las identidades de los proveedores, catálogos, órdenes de compra y contratos inteligentes pre-acordados, los pagos pueden liberarse al recibir bienes y servicios, y

prueba de calidad, lo que reduce disputas y sobrecostos. Esta capa confiable permite una evaluación casi en tiempo real de los indicadores de rendimiento de los proveedores y reducir los riesgos de adquisición de cumplimiento. En el caso de las adquisiciones públicas y privadas, aborda los riesgos de adquisición en cumplimiento.

- Gestión de proyectos, pagos y auditorías técnicas:

Otro uso importante es la automatización de hitos y la auditoría del progreso completo. Mahmudnia et al. (2022) describen cómo los contratos inteligentes liberan automáticamente los pagos por el progreso cuando la evidencia de IoT/BIM valida las condiciones, reduciendo así la fricción administrativa y el tiempo de inactividad. Por otro lado, Nawari y Ravindran (2019) explican cómo la cadena de bloques ancla la revisión del diseño, secuencias de RFI y órdenes de cambio (CO) para crear rastros de decisiones verificables que pueden ser utilizados como defensa contra reclamos y control de calidad. Junto con sistemas de gestión de documentos y modelos BIM, se puede timestamp y firmar digitalmente entregables, y con un clic, reconstruir líneas de tiempo de aprobación. Este enfoque hace que el seguimiento sea reproducible y auditable, facilitando así la monitorización y cerrando las brechas de información entre el campo y la oficina técnica.

2.3.12. Integración de Semantic BIM y blockchain para la trazabilidad técnica

La integración entre BIM semántico y blockchain permite establecer un flujo de información en el que los resultados de validación técnica obtenidos a partir del modelo BIM sean registrados de forma inmutable. Brandín y Abrishami (2024) citan la gestión de grandes volúmenes de datos y la interoperabilidad de sistemas heterogéneos como desafíos recurrentes, especialmente donde intervienen numerosos interesados y plataformas. En este enfoque, los atributos y resultados de validación se estructuran en formatos interoperables, como JSON, que pueden ser registrados en una cadena de bloques para garantizar su trazabilidad.

Xue y Lu (2020) describen que la integración entre BIM y la tecnología blockchain ofrece un significativo potencial para habilitar el desarrollo de aplicaciones avanzadas que generen valor añadido en los procesos del sector construcción. La trazabilidad obtenida no se limita al almacenamiento de datos, sino que proporciona evidencia verificable del cumplimiento normativo en momentos específicos del proyecto. Este enfoque resulta especialmente relevante en contextos donde se requiere transparencia y control técnico, como los proyectos ejecutados por Núcleo Ejecutor.

2.3.13. Integración con plataformas BIM y sistemas de gestión

Como describen Nawari y Ravindran (2019), la integración con BIM y sistemas de gestión corporativa posiciona a la cadena de bloques como la columna vertebral de la gobernanza de la información. En el vínculo BIM-Blockchain, los usuarios pueden vender versiones de modelos, gestionar permisos y auditar cambios mientras mantienen la autoridad y la propiedad intelectual.

Nawari y Ravindran (2019) afirman que la sinergia entre BIM y blockchain automatiza la evidencia estándar y apoya la automatización de evidencia que permite la gobernanza de los datos a niveles de programa. Brandín y Abrishami (2021) demuestran que rastrear un activo a lo largo de su ciclo de vida, desde el diseño hasta la operación y el mantenimiento, facilita las auditorías ESG y mitiga la pérdida de información durante las transferencias. La alineación entre el modelo, la documentación y los contratos fomenta una cultura de datos confiables que avanza rápidamente el movimiento de digitalización en la industria AEC.

2.3.14. Interoperabilidad y Sinergias Tecnológicas

Entre las muchas dimensiones que se consideran para lograr la digitalización de la construcción, la interoperabilidad tecnológica destaca por la integración fluida de diferentes sistemas, herramientas y formatos de información a lo largo de todo el ciclo de vida de los proyectos de construcción. Por ejemplo, Kong et al. (2025) utilizaron un modelo recién adaptado para transacciones semánticas, dando relevancia al intercambio abierto de datos para el BIM, el cual asegura seguir la trazabilidad de cambios a nivel de versionado y elimina la sobrecarga de datos. Estas tecnologías son de gran impacto en la cooperación de proyectos de construcción multidisciplinarios e incrementan el control de gestión de activos de construcción de forma inteligente.

La creación de plataformas y la estandarización de herramientas abiertas inician el marco para una interoperabilidad efectiva en el sector de la construcción. Liu et al. (2024) diseñan una Plataforma como Servicio (PaaS) basada en blockchain, que utiliza el estándar openBIM para optimizar flujos de trabajo y validar la integridad de la información a través de contratos inteligentes. Esto permite la automatización de procesos y la transparencia en la gestión de datos durante la producción y montaje fuera del sitio. Tao et al. (2024) proponen un Entorno de Datos Comunes (CDE) construido sobre gráficos de conocimiento y contratos inteligentes, en el que los metadatos de BIM se

validan automáticamente antes del registro en blockchain. Ambos casos de uso destacan cómo las plataformas interoperables y de estándares abiertos aumentan la eficiencia operativa, la trazabilidad y la confianza dentro del ecosistema de construcción.

Este avance ayuda a la sostenibilidad del proyecto y fomenta un entorno colaborativo confiable donde se toman decisiones basadas en datos. En los datos actualizados, la interoperabilidad tecnológica proporciona a la construcción una transformación digital.

2.3.15. Plataformas y estándares de interoperabilidad.

Hacer plataformas basadas en estándares abiertos es necesario para lograr interoperabilidad en entornos colaborativos. Liu et al, (2024) describen una Plataforma como Servicio (PaaS) basada en tecnología blockchain que utiliza principios de openBIM para la integración de flujos de trabajo en tiempo real y verificaciones de consistencia automatizadas para el flujo de datos. Este sistema utiliza contratos inteligentes para la gestión de permisos y auditorías digitales que garantizan transparencia y limitan la dependencia de intermediarios. Los resultados reportados hablan de una mejor coordinación y una ganancia neta en eficiencia de la comunicación y eficiencia general del proceso de construcción. En consecuencia, la estandarización es una clave activa para la provisión de una interoperabilidad sostenida en la colaboración entre agentes, plataformas y fases del proyecto.

Tao et al. (2024) proponen un Entorno de Datos Común (CDE) que se basa en blockchain y utiliza gráficos de conocimiento avanzados y contratos inteligentes para validar la integridad de los metadatos BIM antes de que sean finalizados y guardados en la blockchain.

Este método funciona con la norma internacional ISO 19650. Automatiza la validación de regulaciones y control de calidad, ahorrando tiempo de verificación y aumentando la seguridad de la información. En el pilotaje del sistema, los evaluadores reconocieron mejoras en la trazabilidad en el sistema y el flujo colaborativo, y reportaron mayor confianza en el intercambio de información digital. En general, las plataformas y estándares establecidos construyen una nueva base tecnológica para una construcción avanzada, integrada, transparente y sostenible.

2.3.16. El Modelo de Ejecución por Núcleo Ejecutor

El Modelo de Ejecución Por Núcleo Ejecutor es un ejemplo de un modelo de gestión estratégicamente descentralizado. Busca promover la participación ciudadana a nivel comunitario, donde las comunidades u organizaciones asumen directamente la ejecución de obras de construcción. Romero y Esenarro (2024) reconocen las limitaciones del modelo en el contexto peruano como derivadas de la capacidad técnica y administrativa de los ejecutores, lo que resulta en sobrecostos y retrasos en los proyectos. Se pone mayor énfasis en el aspecto administrativo de la gestión en el modelo basado en flujos propuesto por Garcia-Lopez y Fischer (2024). Aquí, la gestión de un proceso se hace posible a través de la modelación formal de flujos y actividades, lo que, a su vez, garantiza la eficiencia operativa y la trazabilidad y control sobre el proceso. La aplicación potencial de tal modelo a la preparación de flujos de trabajo es ilimitada. Reduciría significativamente el margen para brechas de control y fortalecería la gestión proactiva y la rendición de cuentas en marcos donde los ciudadanos participantes en la organización del trabajo gestionado. También racionalizaría mejor los flujos a ser gestionados.

La manera en que funciona un modelo depende en gran medida de cómo está organizado y de contar con pasos claros que garantizan la transparencia y la calidad en la ejecución. Romero y Esenarro (2024) identifican los principales obstáculos a la calidad y puntualidad de la obra de construcción realizada por núcleos locales como la falta de experiencia técnica y la capacitación insuficiente en gestión de proyectos. Por otro lado, Garcia-Lopez y Fischer (2024) muestran cómo el uso del modelo de actividades y flujos permite generar criterios de objetivos de rendimiento y mejorar la asignación de recursos. Este enfoque metodológico fomenta la coordinación entre actores, reduce la incertidumbre de planificación, aumenta la capacidad institucional y fortalece la gestión de la descentralización para que sea más efectiva y sostenible en el tiempo.

La administración de recursos, la coordinación de equipos y la vigilancia de la calidad técnica y contractual son algunas de las funciones más importantes que cumple un Núcleo Ejecutor, y son la clave en la ejecución de la infraestructura pública. Es saber que, en el trabajo de este, Romero y Esenarro (2024) recalcan que se gestionan todos los proyectos de este tipo con altas cargas de sobrecostos, lo que indica fallas en la supervisión y la gestión administrativa. Frente a ello, para mejorar la planificación y la administración de actividades, reforzar el control de comunicación entre los actores y gestionar la previsión de fallas, quizás se podrían incorporar más herramientas digitales.

Por lo tanto, probablemente la ejecución de un Núcleo Ejecutor y la racionalidad en el gasto público se sustentan en la profesionalización del recurso humano y la digitalización de los procesos.

2.3.17. Características organizativas y operativas del Núcleo Ejecutor

Los Núcleos Ejecutores tienen un sistema descentralizado, que permite a los miembros de la comunidad gestionar la construcción de las obras comunitarias. Esta participación fomenta la apropiación y la sostenibilidad social de los proyectos de construcción. Romero y Esenarro (2024) citan los posibles inconvenientes de esta forma de organización, particularmente la falta de especialización técnica de los miembros y la inexperiencia en la gestión administrativa de la organización. Esta condición introduce riesgos en la toma de decisiones y la ejecución del presupuesto.

En respuesta a esta preocupación, Garcia-Lopez y Fischer (2024) priorizan el establecimiento de procesos formalizados y sistemas de control, con el fin de monitorear y evaluar el movimiento de recursos, actividades y productos. Esto, a su vez, mejora la respuesta ante situaciones imprevistas y fortalece la respuesta organizacional.

La operacionalización y coordinación de los grupos ejecutores se centralizan en los recursos y se estructuran de manera que las acciones y los enfoques estén alineados con las necesidades y prioridades del contexto local, promoviendo la participación de las comunidades. Este modelo implica una comunicación constante y efectiva entre las distintas partes involucradas, a fin de evitar duplicidades y asegurar el uso eficiente de los recursos.

2.3.18. Desafíos técnicos y administrativos en la gestión constructiva

La gestión constructiva siguiendo el modelo del Núcleo Ejecutor enfrenta desafíos debido a factores como la escasa formación técnica, una planificación deficiente y un control inadecuado. Romero y Esenarro (2024) afirman que estos tres factores son la causa de obras inconclusas, sobrecostos y pérdida de confianza pública en las obras ejecutadas por el estado. Por el contrario, Garcia-Lopez y Fischer (2024) argumentan que el uso de modelos formales relacionados con la optimización de la planificación y el control de proyectos minimiza los márgenes de error y mejora la asignación de recursos. El uso de tecnologías de gestión del tipo descrito y la capacitación de actores profesionales para cerrar las brechas técnicas fortalecerán la sostenibilidad del modelo,

lo que llevará a los resultados deseados de eficiencia, transparencia y ejecución de infraestructura descentralizada de calidad pública.

2.3.19. Aporte del sistema de validación Semantic BIM – blockchain al modelo Núcleo Ejecutor

La aplicación de un sistema de validación constructiva automatizada basado en BIM semántico y blockchain local el cual aporta beneficios significativos al modelo de ejecución por Núcleo Ejecutor. Al proporcionar resultados de validación claros, verificables y trazables, se reduce la subjetividad en los procesos de supervisión y se fortalece la rendición de cuentas.

Romero y Esenarro (2024) indican que la incorporación de herramientas digitales de control técnico contribuye a mejorar la calidad de las obras públicas ejecutadas bajo este modelo, al facilitar la supervisión y la detección temprana de incumplimientos normativos. En este sentido, la propuesta de esta investigación se orienta a mejorar la trazabilidad técnica y la confiabilidad de la información constructiva, sin modificar el modelo de gestión del Núcleo Ejecutor, sino complementándolo mediante el uso de tecnologías digitales orientadas al control normativo.

2.3.20. Ventajas para la trazabilidad, auditoría y transparencia de procesos

La primera es la trazabilidad técnica y documental de los detalles. Como aseguraron Nawari y Ravindran (2019) cada evento de la cadena de bloques de tiempo, y cada movimiento del dato, verifica quién, cuándo y qué se audita de los datos de la cadena de custodia. Estos ayudan en hacer auditorías como rastros de auditoría documentados. Junto a esto, Mahmudnia et al. (2022), también para control de calidad. Estandarizar pruebas/testimonios, asegurar y mejorar las condiciones contractuales, hace que las discusiones de registros sean redundantes. El cierre de las condiciones del contrato y el resultado quedan registrados.

La segunda son actividades fraudulentas y el costo en papeleo y controles en manuales de auditoría, y las conciliaciones en los pagos por construcción. Heydari y Shojaei (2025) señalan que el acceso y control de auditorías automatizados e integrados virtualmente, refuerzan el control de entrada manual.

Finalmente, la transparencia multi-actor refuerza la rendición de cuentas. Según Yang et al. (2020), el acceso compartido con permisos reduce la opacidad y la visibilidad

desigual que son estándar en sistemas centralizados. Esta visibilidad permite un acceso selectivo basado en el papel de cada uno, construyendo un clima operativo de confianza ya que supervisores, propietarios y contratistas pueden trabajar con la misma fuente de verdad al tomar decisiones que son oportunas y verificables.

2.3.21. Sistema de Validación Constructiva Automatizada

La validación constructiva automatizada ha evolucionado desde enfoques basados en revisiones manuales y listas de chequeo hacia sistemas digitales capaces de verificar el cumplimiento técnico y normativo de manera sistemática, objetiva y reproducible. Schelter et al. (2018) sostienen que la automatización de la validación permite traducir reglas normativas y criterios técnicos en restricciones formales que pueden ejecutarse directamente sobre conjuntos estructurados de datos, reduciendo errores humanos y mejorando la consistencia del control de calidad. En el ámbito de la construcción, este enfoque resulta especialmente relevante debido a la complejidad de los proyectos y a la gran cantidad de información técnica que debe ser verificada de manera continua.

Bloch (2022) indica que el BIM semántico (Semantic BIM) constituye un elemento fundamental para la automatización de la validación constructiva. A diferencia del BIM tradicional, que se centra en la representación geométrica y paramétrica, el BIM semántico incorpora significado, relaciones lógicas y contexto normativo a los elementos del modelo (Dinis et al., 2021). Mediante el uso de ontologías y tecnologías de la web semántica, los elementos constructivos pueden ser vinculados explícitamente a sus atributos técnicos, requisitos normativos y relaciones funcionales, permitiendo que las reglas de validación no solo comparen valores numéricos, sino que también interpreten el rol y la función de cada elemento dentro del sistema constructivo. Nisbet et al. (2024) demuestran que la codificación explícita de requisitos normativos en estructuras semánticas facilita la automatización de verificaciones y mejora la reproducibilidad de los resultados.

La integración de reglas lógicas y esquemas ontológicos en procesos de validación automatizada permite establecer un marco formal donde el comportamiento observado del modelo BIM puede ser comparado con el comportamiento esperado definido por la normativa técnica (Basile & Ferrara, 2023). Este enfoque refuerza la coherencia del proceso de validación, ya que las decisiones no dependen de interpretaciones individuales, sino de reglas explícitas y previamente definidas. Además, la estructuración

semántica de los datos posibilita que los resultados de validación sean reutilizables, trazables y comprensibles por otros sistemas, fortaleciendo la interoperabilidad entre plataformas y disciplinas.

Por otro lado, la incorporación de tecnología blockchain en sistemas de validación constructiva automatizada aporta una capa adicional de confiabilidad y trazabilidad a los resultados obtenidos. Diversos autores destacan que blockchain permite el registro inmutable y verificable de información técnica, asegurando que los resultados de validación no puedan ser alterados sin dejar evidencia (Yang et al., 2020). En el contexto de la validación constructiva, el uso de blockchain no se orienta a la validación técnica en sí misma, sino al registro seguro de los resultados de dicha validación, garantizando su integridad, autenticidad y disponibilidad para procesos de auditoría y control posteriores.

En conjunto, la sinergia entre BIM semántico y blockchain permite configurar sistemas de validación constructiva automatizada que no solo verifican el cumplimiento normativo de los elementos estructurales, sino que también aseguran la trazabilidad y transparencia de los resultados a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Esta integración resulta especialmente pertinente en contextos de ejecución pública y modelos descentralizados de gestión, donde la confiabilidad de la información y la rendición de cuentas constituyen factores críticos para el éxito del proyecto. De esta manera, la validación constructiva automatizada basada en Semantic BIM y blockchain se consolida como un enfoque innovador para mejorar el control técnico, la calidad de la información y la gobernanza de los proyectos de construcción.

2.3.22. Principios de automatización en validación técnica

La automatización de la validación técnica en proyectos de construcción se fundamenta en la necesidad de comparar de manera sistemática y objetiva el estado real de un sistema con los requisitos técnicos y normativos previamente establecidos. Basile y Ferrara (2023) señalan que uno de los principios centrales de la validación automatizada es la confrontación continua entre el comportamiento observado y el comportamiento esperado, el cual debe estar formalmente modelado. En el contexto de la construcción, este principio se traduce en la comparación de los atributos técnicos modelados en un entorno BIM con los criterios normativos definidos por las regulaciones técnicas

aplicables, permitiendo identificar de forma automática desviaciones, incumplimientos o inconsistencias.

Un segundo principio clave es la formalización de los criterios de validación mediante reglas explícitas y estructuradas, las cuales pueden ser ejecutadas por sistemas computacionales sin ambigüedad. Schelter et al. (2018) destacan que la traducción de requisitos técnicos en restricciones formales posibilita la ejecución de validaciones repetibles y escalables sobre grandes volúmenes de datos. En sistemas basados en BIM semántico, estas reglas se apoyan en estructuras ontológicas que definen conceptos, propiedades y relaciones entre los elementos constructivos, permitiendo que la validación no se limite a la comparación de valores numéricos, sino que incorpore el significado y la función de cada elemento dentro del sistema estructural (Bloch, 2022)

Asimismo, la modularidad y jerarquización del proceso de validación constituye otro principio esencial de la automatización técnica. Zhang et al. (2023) indican que los sistemas complejos deben estructurar sus flujos de validación de manera jerárquica, permitiendo evaluar componentes individuales y relaciones entre ellos de forma progresiva. Aplicado al entorno BIM, este principio permite validar atributos técnicos a nivel de elemento, luego relaciones geométricas o funcionales entre elementos, y finalmente condiciones globales del sistema estructural. Esta organización modular mejora la trazabilidad de los resultados y facilita la identificación precisa de la fuente de los incumplimientos detectados.

Finalmente, la automatización de la validación técnica requiere garantizar la consistencia, trazabilidad y verificabilidad de los resultados generados. En este sentido, la integración de tecnologías de registro distribuido, como blockchain, aporta un mecanismo para asegurar que los resultados de validación sean almacenados de forma inmutable y verificable, fortaleciendo la confianza en el proceso automatizado (Nawari & Ravindran, 2019). De esta manera, los principios de automatización en validación técnica no solo buscan optimizar la eficiencia del control normativo, sino también establecer un marco confiable y transparente que respalde la toma de decisiones técnicas en proyectos de construcción.

2.3.23. Impacto potencial en la eficiencia y la trazabilidad

La validación constructiva automatizada basada en BIM semántico y tecnología blockchain tiene un impacto directo en la mejora de la eficiencia y la trazabilidad de los

proyectos de construcción. La automatización de la verificación normativa, apoyada en modelos BIM enriquecidos semánticamente, permite reducir los procesos manuales, minimizar errores y agilizar la detección de incumplimientos técnicos, generando resultados reproducibles y consistentes a lo largo del ciclo del proyecto (Bloch, 2022; Schelter et al., 2018).

Desde el enfoque de la trazabilidad, la estructuración semántica de los atributos, reglas y resultados de validación facilita el seguimiento claro y verificable de cada elemento constructivo y de sus estados de cumplimiento. Kong et al. (2025) destacan que la trazabilidad semántica mejora el control de versiones y la identificación de modificaciones técnicas, fortaleciendo los procesos de auditoría y supervisión. Esta capacidad resulta especialmente relevante en proyectos públicos, donde la transparencia y la rendición de cuentas son fundamentales.

La integración de blockchain como capa de registro inmutable refuerza estos beneficios al garantizar la integridad, autenticidad y no alteración de los resultados de validación. Según Nawari y Ravindran (2019) y Yang et al. (2020), el uso de registros distribuidos permite consolidar una fuente confiable de información técnica, incrementando la confianza entre los actores del proyecto. En conjunto, esta integración tecnológica contribuye a una gestión constructiva más eficiente, transparente y orientada a la mejora continua de la calidad.

2.3.24. Casos de estudio relevantes

En el contexto de la infraestructura, que es el tema de esta investigación, se ha confirmado y continúa la mejora semántica de la calidad de los objetos/eventos de infraestructura a través de experimentos.

Los casos en entornos de puentes de carreteras y atención sanitaria han visto corrección y enriquecimiento semántico que alinearon el modelo con los requisitos legales, permitiendo la verificación de la conformidad sobre reglas explícitas (Nisbet et al., 2024). Por otro lado, Wang et al. (2024) validan su marco en un apartamento real, mostrando detección automática de inconsistencias e informes reproducibles. Estas experiencias han demostrado que la revisión debe convertirse en un proceso transparente y auditable con semántica.

A través de BIM semántico, el modelo representa capas semánticas de significados imperceptibles en modelos geométricos (BIM). Por medio de ontologías,

Simeone et al. (2019) permiten la codificación de material histórico, técnicas de intervención y estado de conservación, que a su vez influye en las decisiones de mantenimiento y documentación para la significación cultural.

Por otro lado, la integración de la ontología ha demostrado ser efectiva para todo el ciclo de vida desde el diseño hasta la operación, y Jia et al. (2024) confirmaron que la semántica tiene influencias de vanguardia en la arquitectura.

2.3.25. Integración de Semantic BIM y blockchain: retos y oportunidades

Combinar BIM Semántico y blockchain es uno de los ecosistemas digitales más inteligentes y transparentes. Kong et al. (2025) proponen un sistema de transacciones semánticas diferenciales, que agiliza el intercambio de datos y, como resultado, reduce la redundancia de datos en entornos openBIM. Ambas perspectivas muestran que el nivel de integración de las tecnologías mencionadas proporciona un mayor nivel de calidad, coherencia y facilidad de acceso a la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Hay muchas oportunidades estratégicas que surgen de la integración debido a que estos instrumentos promueven la toma de decisiones basadas en información verificable, mejoran la transparencia, minimizan los gastos administrativos y reducen los costos generales. Así, la sinergia de BIM Semántico y blockchain proporciona una solución BIM holística para mejorar la productividad al mismo tiempo que asegura la sostenibilidad tecnológica y ambiental en la construcción.

Sin embargo, hay más problemas con la integración por la falta de estándares comunes, la dificultad de hacer los sistemas grandes y la falta de aceptación por parte de las instituciones involucradas. La convergencia entre BIM y blockchain constituye una solución con gran potencial; sin embargo, su implementación se ve limitada por múltiples retos tecnológicos, siendo la redundancia de datos uno de los principales (Xue & Lu, 2020).

Las cadenas y los marcos de seguridad de datos se convierten en elementos propietarios y cohesionados, y la seguridad en tiempo real de la interoperabilidad se convierte en un problema de barrera acumulativa. De manera similar, Kong et al. (2025) argumentan que implementar la tecnología blockchain en los procesos de intercambio de BIM necesitará pivotar control de asociaciones y marcos organizacionales hacia un paradigma más sociotécnico y adoptar ideas más civiles y orientadas a la organización. A pesar de las limitaciones, el paradigma de convergencia de BIM Semántico y blockchain

desestima las limitaciones de convergencia de control de información precisa y en tiempo real, como se afirmó, colocando al sector AEC en el umbral de una revolución digital de cooperación y trazabilidad avanzada.

2.4. Marco legal

En la siguiente tabla se muestran las normativas, reglamentos o leyes que nos permitirán conocer bajo que estándares se debe realizar la investigación. Si bien Semantic BIM y blockchain no tienen normativas específicas, su aplicación se respalda de normas internacionales que gestionan la información en entornos BIM y los principios, usos permitidos y responsabilidades de blockchain. Se indica la relevancia de cada uno y los procesos que regulan:

Tabla 4

Marco legal de la investigación

ID	Marco normativo	Relevancia
1	Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) – Perú (Ministerio De Vivienda Construcción Y Saneamiento, 2021)	Determina los requisitos esenciales para el diseño estructural, abarcando seguridad ante sismos, resistencia de materiales y condiciones técnicas requeridas en construcciones. Sustenta las verificaciones estructurales desde el ámbito normativo.
2	Guía BIM para el Perú – Plan BIM Perú (Sistema Nacional De Programación Multianual Y Gestión De Inversiones, 2023)	Proporciona lineamientos para la implementación de la metodología BIM en proyectos del Estado, promoviendo el uso de modelos digitales colaborativos e interoperables. Apoya el marco técnico de modelado y coordinación estructural.
3	ISO 19650 (Partes 1 y 2) (International Organization For Standardization, 2017)	Norma internacional para la gestión de datos en proyectos a través de BIM. Define métodos para asegurar la calidad, control y monitoreo de los modelos durante su duración. Es esencial para estructurar procesos con Semantic BIM.
4	ISO 16739 (IFC – Industry Foundation Classes) (International Organization For Standardization, 2024)	Estándar de datos abierto que facilita el intercambio de información entre diferentes plataformas BIM. Apoya la interoperabilidad y el desarrollo semántico de modelos.
5	IEEE 2418.1-2020 (Blockchain Framework for IoT)	Ofrece un fundamento para la incorporación de blockchain en contextos de datos dispersos. A pesar de estar enfocado en IoT, establece

	(Ieee Sa Standards Association, 2022)	normas para la trazabilidad, verificación y resguardo de información en plataformas digitales como los modelos BIM.
6	RGPD – Reglamento General de Protección de Datos (UE) (Unión Europea, 2016)	Rige la salvaguarda de datos personales en plataformas digitales. Es crucial garantizar que la utilización de blockchain respete principios de privacidad al gestionar datos técnicos en modelos BIM.
7	ISO/IEC 27001 – Seguridad de la Información (International Organization For Standardization, 2022)	Proporciona directrices para establecer sistemas de gestión de seguridad de la información. Apoya la protección de datos en flujos de validación BIM-blockchain.
8	Ley N°29733 (Congreso De La República, 2011)	Regula como deben ser tratados los datos personales en medios digitales, incluyendo tecnologías como blockchain. Fundamental para la seguridad jurídica del sistema propuesto.
9	Ley N°31015 (Congreso De La República, 2020)	Autoriza la ejecución de intervenciones en infraestructura social básica, productiva y natural mediante la modalidad de núcleos ejecutores. Busca mejorar el manejo y la cobertura de proyectos en zonas rurales y periurbanas, centrado especialmente en la educación, salud, caminos rurales y saneamiento.
10	Normas de Contrataciones del Estado (OSCE – Perú) (Organismo Supervisor De Las Contrataciones Del Estado, 2022)	Aunque todavía no menciona blockchain de manera directa, define normas de seguimiento y claridad que coinciden con la meta de la validación automática del modelo BIM.

Nota. Búsqueda de normativas nacionales e internacionales del tema de investigación.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, debido a que está orientada a la propuesta de un sistema tecnológico que busca resolver una problemática concreta en la gestión y validación constructiva de proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor. Este tipo de investigación se caracteriza por generar conocimiento con una finalidad práctica e inmediata, buscando su aplicación directa en contextos reales (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.2. Alcance de investigación

Se presenta un alcance explicativo dado que está orientado a analizar y comprender las interacciones entre los modelados semánticos de información (Semantic BIM) y mecanismos para la trazabilidad y verificación de datos que la tecnología blockchain ofrece.

Asimismo, la investigación incorpora una fase propositiva en donde se diseña un sistema a nivel de integración de tecnología blockchain en entorno local de validación constructiva automatizada, orientado a optimizar de la gestión y el control normativo de los procesos constructivos en el sistema de núcleo ejecutor.

El alcance del estudio se limita a la especialidad estructural - arquitectónica del proyecto, considerando únicamente componentes constructivos críticos tales como muros portantes de albañilería, cimientos corridos, columnas de concreto armado, con el fin de garantizar la viabilidad del análisis y la profundidad técnica de la propuesta.

Cabe precisar que el modelado no incluye el detalle del acero de refuerzo (armaduras longitudinales ni transversales). Esta decisión responde a que la verificación del refuerzo estructural implica cálculos estructurales específicos (cuantías máximas, mínimas, espaciamientos, anclajes, desarrollo de barras, diseño por flexión y corte, entre otros), los cuales corresponden a un análisis de diseño estructural y no únicamente a una validación semántica de atributos modelados.

La presente investigación se centra en la validación automatizada de parámetros geométricos, funcionales y normativos explícitos que pueden ser verificados mediante

reglas lógicas y comparación directa de valores dentro del modelo BIM. En consecuencia, la exclusión del modelado detallado del acero permite delimitar el estudio al ámbito de la coherencia semántica y el cumplimiento normativo verificable sin involucrar procesos de cálculo estructural avanzado, los cuales exceden los objetivos y el alcance metodológico de la investigación.

3.3. Enfoque de la investigación

Según Hernández Sampieri et al. (2014), se plantean tres enfoques de investigación, de los cuales se determinó el enfoque mixto para esta investigación debido a que combina tanto el enfoque cualitativo que facilitará la comprensión de percepciones, barreras y beneficios respecto al uso de Semantic BIM y blockchain, como el cuantitativo que permite analizar datos estructurados procedentes de los modelos BIM y criterios técnicos. Es decir, se utilizarán tanto datos numéricos como no numéricos. Esta opción es justificable porque los objetivos no son solo calcular el impacto que producirá la implementación de las tecnologías Semantic BIM y blockchain en la validación y trazabilidad de datos, sino también entender las ventajas, beneficios, barreras y desventajas.

3.4. Diseño de la investigación

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), el estudio presenta un diseño no experimental de tipos transversal, debido a que no se manipulan variables y se analiza el fenómeno tal como ocurre en su contexto.

3.5. Métodos de investigación

En la siguiente tabla se muestra la matriz objetivos - métodos, en donde se identifican los métodos que se utilizarán para cada objetivo permitiendo tener un punto de inicio para poder plantear la metodología de la investigación.

Tabla 5

Métodos de la investigación

ID	Objetivos	Métodos
OE1	Analizar los últimos avances de los beneficios de integrar Semantic BIM y tecnología blockchain en la gestión de proyectos constructivos y determinar su aplicación en las problemáticas más	M1. Mapeo bibliográfico M2. Revisión de literatura M9. Entrevista a expertos

	comunes identificadas en el contexto arequipeño en modalidad de Núcleo Ejecutor.	
OE2	Determinar una estructura semántica para los elementos del modelo BIM a partir de la aplicación de criterios de Semantic BIM como atributos técnicos, normativos y funcionales	M2. Revisión de literatura. M4. Análisis documental técnico - normativo
OE3	Desarrollar un sistema de registro de los resultados de validación estructural, obtenidos mediante la aplicación de criterios semánticos en un entorno BIM, que garantice su trazabilidad, integridad y verificación automatizada mediante la integración de tecnología blockchain en entorno local	M2. Revisión de literatura. M5. Modelamiento BIM en Revit. M7. Enriquecimiento semántico de los modelos BIM. M6. Validación de resultados en programa. M3. Prototipos para la integridad de datos mediante blockchain.
OE4	Identificar los beneficios y limitaciones del sistema de integración planteado para optimizar procesos de validación técnica basando las afirmaciones en la opinión de expertos.	M2. Revisión de literatura. M8. Método Delphi.

Nota. Asignación de los 4 objetivos de la investigación y su relación con las metodologías encontradas.

- **M1: Mapeo bibliográfico**

El mapeo bibliográfico permitirá conocer el panorama científico y técnico asociado a la integración de Semantic BIM y blockchain, identificando tendencias, autores y publicaciones clave. A través de indicadores cuantitativos y palabras clave más frecuentes, se establecerán los temas emergentes y las brechas de conocimiento que justifican la investigación. Este procedimiento orientará la selección de literatura para la revisión sistemática y servirá como base para priorizar enfoques metodológicos y herramientas tecnológicas a evaluar en el estudio. El resultado esperado es un conjunto de conclusiones sobre el desarrollo y la madurez del tema, además de una lista de fuentes relevantes para la construcción del marco teórico y la validación del prototipo.

- **M2: Revisión de literatura**

La revisión de literatura consistirá en una lectura crítica y estructurada de trabajos teóricos y aplicados relacionados con Semantic BIM, blockchain, para la trazabilidad en proyectos de construcción. Se sintetizarán enfoques locales, metodologías utilizadas, resultados alcanzados y limitaciones reportadas por otras investigaciones, con especial énfasis en aplicaciones prácticas y casos de estudio comparables. Esta síntesis permitirá construir una base teórica coherente, definir los criterios semánticos a aplicar y justificar las decisiones de diseño del sistema propuesto. Además, la revisión facilitará la identificación de normas, buenas prácticas y vacíos que el proyecto busca abordar.

- **M3: Prototipos para la integridad de datos mediante blockchain**

Se desarrollarán prototipos funcionales que demuestren cómo la tecnología blockchain puede registrar, proteger y auditar eventos relevantes del flujo de información BIM. Estos prototipos incluirán la definición de transacciones, el esquema de datos a almacenar en la cadena y la implementación básica de contratos inteligentes que automaticen verificaciones de integridad y permisos. La construcción y prueba de prototipos permitirá evaluar aspectos prácticos como latencia, trazabilidad, resistencia a modificaciones y facilidad de integración con flujos BIM. Con base en los resultados se ajustarán requisitos técnicos y se recomendará una arquitectura viable para la validación automatizada propuesta.

- **M4: Análisis documental técnico - normativo**

Consiste en la revisión sistemática de los documentos técnicos relevantes de los expedientes de obra seleccionados, específicamente planos de arquitectura, estructuras y especificaciones técnicas, así como de la normativa vigente del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Este método permite identificar, comparar y extraer los parámetros técnicos y normativos necesarios para definir los atributos semánticos del modelo BIM y establecer las reglas de validación empleadas en la propuesta.

- **M5: Modelamiento BIM en Revit**

Se realizará el modelamiento integral de los proyectos seleccionados en Autodesk Revit, generando modelos arquitectónicos y estructurales detallados que incorporen atributos técnicos básicos. El trabajo en Revit permitirá crear la plataforma

digital desde la cual se implementará el enriquecimiento semántico y las reglas de validación automatizada. Durante este proceso se establecerán convenciones de modelado, parámetros compartidos y niveles de detalle apropiados para las pruebas, garantizando la coherencia entre disciplinas. Los modelos servirán además para simular escenarios de verificación y para extraer la información que se registrará en la solución blockchain.

- **M6: Validación de resultados en programas**

Los resultados obtenidos (reglas semánticas, prototipos blockchain y modelos BIM) serán verificados empleando herramientas especializadas o desarrollos propios que permitan ejecutar las comprobaciones automatizadas. Esta etapa incluye la ejecución de pruebas que midan la detección de inconsistencias, el tiempo de verificación, la fiabilidad de los registros y la interoperabilidad entre plataformas. Asimismo, se documentarán los errores detectados y las mejoras implementadas, cuantificando el impacto del sistema sobre la consistencia de la información y los flujos de trabajo. El objetivo es validar que la propuesta funciona en entornos tecnológicos reales y aportar métricas replicables.

- **M7: Enriquecimiento semántico de los modelos BIM**

El enriquecimiento semántico consistirá en dotar a los objetos del modelo BIM de atributos normativos, técnicos y funcionales que permitan evaluaciones automáticas (por ejemplo, tipo de material, resistencias, cumplimiento normativo). Se definirá una estructura semántica y un conjunto de reglas que relacionen objetos, propiedades y requisitos normativos para facilitar la validación. Este proceso transformará el modelo tridimensional en una fuente de datos interpretable por máquinas, habilitando comprobaciones como la coherencia entre planos y especificaciones o la verificación de requisitos estructurales. El resultado será un modelo TBIM (o similar) listo para integrarse con la capa de trazabilidad.

- **M8: Método Delphi**

Se empleará el método Delphi para recopilar juicios de expertos y alcanzar consenso sobre criterios de validación, pesos de indicadores y factibilidad técnica del sistema propuesto. A través de rondas controladas de retroalimentación anónima, se recogerán opiniones de profesionales en BIM, supervisión de obras públicas, ciberseguridad y gestión de proyectos. Las respuestas serán analizadas y retroalimentadas

en iteraciones hasta que se observe convergencia en las valoraciones más importantes. Este procedimiento ayudará a afinar criterios, validar supuestos del prototipo y priorizar ajustes según la visión de actores con experiencia práctica.

- **M9: Entrevistas a expertos**

Se realizarán entrevistas semiestructuradas a actores clave para comprender las prácticas actuales, los problemas de trazabilidad y la receptividad a herramientas digitales. Las entrevistas permitirán identificar necesidades concretas, barreras de adopción y requisitos operativos que deben atenderse en el diseño del sistema. La información cualitativa obtenida complementará los resultados cuantitativos y técnicos, aportando contexto real y validación práctica a las decisiones metodológicas y de implementación.

3.6. Descripción metodológica

El proceso metodológico está compuesto de 4 fases principales, cada una está alineada directamente con los objetivos específicos de la investigación, abarcando desde un análisis de la situación actual de la gestión constructiva en la modalidad de núcleo ejecutor, seguido de un modelado BIM con una definición de requerimiento técnicos y semánticos del sistema, luego el desarrollo de un modelo local de la integración de tecnologías Semantic BIM y blockchain.

Finalmente, se integra una fase de validación experta, en la que el sistema será evaluado por profesionales con experiencia en BIM, gestión de proyectos y normativas constructivas, con la finalidad de comprobar su coherencia, pertinencia y viabilidad teórica.

Fase 1: Análisis de integración tecnológica y diagnóstico contextual (O.E.1)

- **Objetivo:** Analizar los últimos avances de los beneficios de integrar Semantic BIM y tecnología blockchain en la gestión de proyectos constructivos y determinar su aplicación en las problemáticas más comunes identificadas en el contexto arequipeño en la modalidad de núcleo ejecutor.
- **Metodología:**
 - Revisión bibliográfica sistemática de artículos académicos, informes técnicos y casos de aplicación publicados entre 2020 y 2025 con un

enfoque en la trazabilidad, interoperabilidad y automatización en el sector de la construcción.

- Selección datos especializados en fuentes confiables (Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, Google académico) y repositorios institucionales. Además de normativas nacionales que tengan relación con la gestión de proyectos bajo la modalidad de núcleo ejecutor.
- Diagnóstico del contexto local: enfocado en identificar las principales problemáticas tanto técnicas como administrativas y de trazabilidad que se presentan en los procesos constructivos del Programa Cuna más. Se realizará una entrevista semiestructurada a los residentes de obra de los expedientes técnicos de 3 de los proyectos ejecutados en el Programa Cuna Más.
- Resultado esperado: Análisis cualitativo por categorías para identificar y validar las principales problemáticas constructivas corroboradas en el análisis de los expedientes técnicos. La revisión bibliográfica permitió definir herramientas y métodos a utilizar para la integración tecnológica propuesta

Fase 2: Definición de la estructura semántica del modelo BIM (O.E.2)

- Objetivo: Determinar una estructura semántica para los elementos del modelo BIM a partir de la aplicación de criterios de Semantic BIM como atributos técnicos normativos y funcionales.
- Metodología:
 - Selección del programa BIM compatible con extensión semántica a utilizar y modelamiento y asignación de parámetros del proyecto elegido.
 - Análisis documental técnico – normativo del proyecto elegido.
 - Revisión de los criterios normativos y definición de atributos para la validación constructiva del modelo.
 - Enriquecimiento semántico del modelo BIM: asignar atributos a los elementos: técnicos (materialidad, resistencia, dimensiones), normativos (cumplimiento del RNE y estándares ISO 19650) y funcionales (rol constructivo y relaciones espaciales), generando un dataset semántico.

- Diseño y formalización de la ontología conceptual mediante una herramienta de modelado ontológico (Protegé), estableciendo clases, propiedades y relaciones entre elementos BIM, criterios normativos y resultados de validación.
- Validación constructiva automatizada: para probar la detección de incumplimientos de requisitos mínimos normativos y funcionales.
- Resultado esperado: Desarrollo de una ontología semántica de un modelo BIM del proyecto constructivo del Programa Cuna Más.

Fase 3: Desarrollo del sistema automatizado de registro y validación (O.E.3)

- Objetivo: Desarrollar un sistema de registro de los resultados de validación estructural, obtenidos mediante la aplicación de criterios semánticos en un entorno BIM, que garantice su trazabilidad, integridad y verificación automatizada mediante la integración local de tecnología blockchain.
- Metodología:
 - Diseño del flujo de interoperabilidad de datos entre el modelo BIM y el sistema de registro criptográfico, mediante la exportación de los resultados de validación estructural desde el entorno BIM y su transformación a formatos estructurados de intercambio. Este proceso incluyó la extracción de datos mediante herramientas de automatización (PyRevit), su organización inicial en Excel y posterior conversión a formatos CSV y JSON para su procesamiento computacional.
 - Estructuración de los resultados de validación en formato JSON, organizando los parámetros geométricos, resistentes y normativos de los elementos estructurales en una arquitectura de datos interoperable, compatible con sistemas de procesamiento automatizado y con la generación de registros criptográficos.
 - Implementación de un prototipo blockchain mediante programación en Python, orientado al registro secuencial de los resultados de validación estructural mediante bloques que incorporan información del registro, marca temporal, hash criptográfico y referencia al hash del bloque anterior, utilizando el algoritmo SHA-256.

- Generación de registros criptográficos encadenados a partir de los archivos JSON, mediante la ejecución del script blockchain.py, el cual automatiza la lectura de los datos, la creación de bloques y el cálculo de sus respectivas huellas digitales criptográficas.
- Verificación de la integridad e inmutabilidad de la cadena generada, mediante el análisis del encadenamiento de los campos hash y previous_hash, comprobando que cualquier modificación en los datos originales produce cambios en la cadena y permite detectar alteraciones posteriores.
- Evaluación del sistema propuesto como mecanismo de trazabilidad y aseguramiento de integridad, demostrando que la incorporación de principios de tecnología Blockchain permite registrar los resultados de validación estructural en una estructura criptográfica verificable dentro de entornos BIM.

Fase 4: Evaluación de desempeño y validación experta (O.E.4)

- Objetivo: Identificar los beneficios y limitaciones del sistema de integración planteado para optimizar procesos de validación técnica basando las afirmaciones en la opinión de expertos.
- Metodología:
 - Evaluación técnica: análisis del desempeño del sistema en términos de trazabilidad, interoperabilidad y eficiencia en validaciones mediante visualización de resultados en Power BI.
 - Validación experta: se aplicará el método Delphi a un grupo de especialistas en BIM, blockchain y gestión en obras públicas con el fin de encontrar un consenso de todas las partes expertas sobre la aplicabilidad y factibilidad de la propuesta.
 - Análisis de resultados: identificación de fortalezas, debilidades, oportunidades de mejor. Así también como un análisis de la relación entre el diagnóstico y resultados del sistema propuesto.

- Resultado esperado: Determinar el potencial del sistema propuesto para mejorar la gestión, trazabilidad y transparencia en los proyectos ejecutados bajo el sistema de núcleo ejecutor.



3.7. Campo de verificación

El Programa Nacional Cuna Más tiene como finalidad brindar atención integral a niños que tengan menos de 3 años en situación de extrema pobreza, mediante la implementación de la infraestructura destinada al cuidado infantil y al desarrollo temprano.

La población de estudio está conformada por los proyectos de infraestructura educativa y asistencial construidos bajo el Programa Nacional Cuna Más, los cuales presentan características similares en cuanto a su finalidad social, tipología constructiva y aplicación de normativa técnica vigente.

En una etapa inicial de la investigación se realizó un análisis exploratorio de (3) proyectos de infraestructura social del programa Nacional de Cuna Mas ejecutados por FONCODES en la región de Arequipa (ubicados en Majes, Aplao y La Colina) con el objetivo de identificar problemáticas comunes relacionadas a la gestión y validación de la información técnica durante las etapas de diseño y ejecución. La tipología constructiva es de un módulo asistencial de un solo nivel, con áreas destinadas a cuidado infantil, servicios higiénicos y zona de preparación de alimentos. Estos proyectos fueron ejecutados bajo el sistema de Núcleo Ejecutor y presentan problemáticas recurrentes en cuanto a la gestión constructiva y el control de calidad.

A partir de este análisis preliminar, se seleccionó un proyecto representativo para el desarrollo del modelo BIM semántico y validación normativa, para este caso fue el proyecto Cuna Más ubicado en el distrito de Majes, provincia de Caylloma, región de Arequipa. Se consideró criterios como la disponibilidad y consistencia de la información técnica, la representatividad tipológica del proyecto, la complejidad estructural necesaria para la aplicación de reglas semánticas y la viabilidad metodológica del estudio.

El proyecto seleccionado presentó la mejor precisión documental en cuanto a planos de arquitectura, estructuras y especificaciones técnicas, permitiendo una correcta definición de atributos, reglas de validación y procesos de interoperabilidad propuestos en la investigación.

El nivel de inversión estimado para este tipo de proyectos, según precedentes del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS), se encuentra en un rango aproximado de S/ 500,000 a S/ 800,000, dependiendo del equipamiento y ubicación geográfica. Esta información es utilizada únicamente como parámetro técnico para

simular validaciones estructurales, semánticas y trazabilidad de datos en el flujo BIM-Blockchain propuesto.

Figura 4

Proyecto Cuna Más elegido, ubicado en el distrito de Majes, provincia de Caylloma, región de Arequipa



Nota: Vista general del módulo asistencial del Programa Nacional Cuna Más seleccionado como caso de estudio.

3.8. Técnicas e instrumentos de investigación

Para el desarrollo de la presente investigación, se requieren de diversas técnicas e instrumentos metodológicos que permitieron recopilar, analizar y validar la información que permite llegar a los objetivos planteados. En la siguiente tabla se presenta las técnicas e instrumentos utilizados, especificando sus finalidades en el contexto del estudio.

Se implementaron 4 técnicas principales: la entrevista semiestructurada dirigida a especialistas en gestión de proyectos de construcción, el análisis documental de expedientes técnicos del Programa Nacional Cuna Más, la aplicación de Semantic BIM mediante herramientas de modelado digital, y la interacción con tecnología blockchain para el registro y trazabilidad de información constructiva. Adicionalmente, se empleó el Método Delphi el cual permitió obtener la validación del estudio mediante el consenso de varios expertos sobre el resultado final de la investigación.

Las técnicas fueron elegidas de forma que puedan abordar los aspectos específicos y requeridos de la investigación, desde la comprensión de la problemática actual en la gestión de proyectos hasta la implementación tecnológica de soluciones basadas en la integración de Semantic BIM y blockchain. Los instrumentos utilizados a cada técnica fueron organizados para respaldar la rigurosidad en la metodología y la comprobación de la confiabilidad de los resultados.

Tabla 6

Técnicas e instrumentos de investigación

Técnica	Instrumento	Finalidad
Entrevista semiestructurada a especialistas	Formato de entrevista dirigida a los supervisores de obra de proyectos seleccionados del Programa Nacional Cuna Más	Recopilar información técnica y experiencial sobre los procesos de supervisión, control y validación constructiva, identificando los problemas más comunes en la gestión proyectos
Análisis documental técnico-normativo	Planos de arquitectura y estructuras, especificaciones técnicas de los proyectos del Programa Nacional Cuna Más, y normas del RNE (E.050, E.060, E.070).	Identificar y extraer los parámetros técnicos y normativos necesarios para definir los atributos del modelo BIM y establecer criterios de validación semántica.

Modelado y estructuración: Semantic BIM	Programa Autodesk Revit, PyRevit, Protégé, formato CSV y XLS.	Elaborar un modelo BIM del sector representativo del proyecto, estructurando su información mediante atributos técnicos, normativos y funcionales conforme a un esquema semántico.
Registro y trazabilidad mediante blockchain	Estructura de registro blockchain, formato JSON	Implementar un mecanismo de registro inmutable y trazable de los resultados de validación semántica del modelo BIM, garantizando la integridad y verificación de la información.
Visualización de resultados	Power BI	Generar representaciones gráficas que permitan analizar y visualizar los niveles de cumplimiento normativo de los elementos estructurales validados.
Método Delphi	Cuestionario estructurado dirigido a expertos en gestión de proyectos y control constructivo.	Validar la propuesta metodológica mediante la obtención de un consenso experto sobre su aplicabilidad, pertinencia y aporte al control normativo en proyectos de edificación.

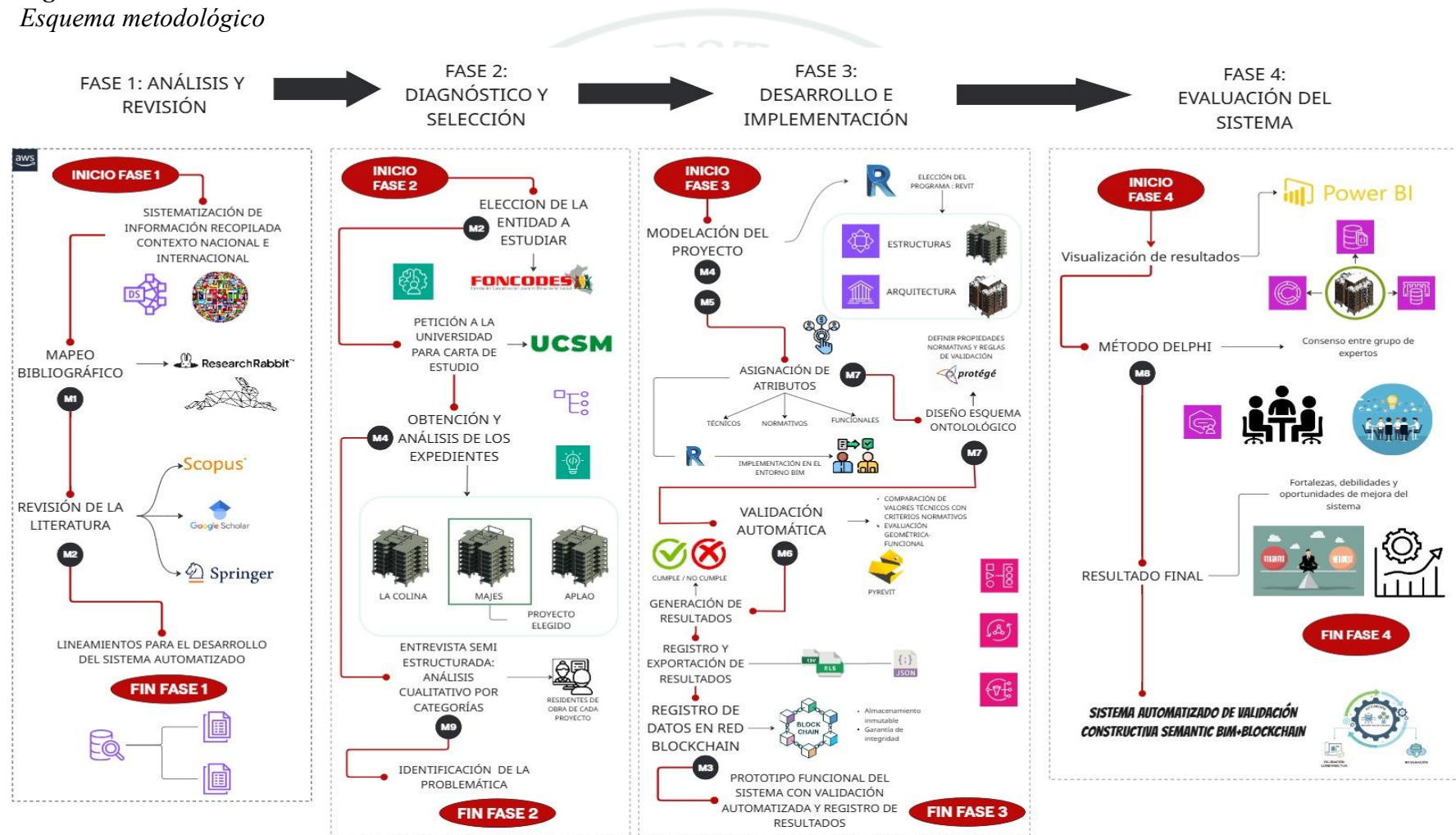
Nota. Identificación de 6 técnicas con sus instrumentos y finalidad respectiva.

3.9. Método de selección y muestreo

Se aplicará un método de selección intencional, eligiendo tres proyectos ejecutados por FONCODES en la región Arequipa, los cuales fueron seleccionados por ser accesibles y representar una problemática común en los procesos de gestión y validación constructiva.

3.10. Esquema metodológico

Figura 5
Esquema metodológico



Nota: Cada procedimiento se implanta en la gráfica para su ejecución en tesis.

CAPÍTULO IV

4. INTEGRACIÓN SEMANTIC BIM Y BLOCKCHAIN

4.1. Avances recientes y tendencias internacionales

4.1.1. Investigaciones y prototipos recientes (2019–2025).

Se realizaron mapas de redes con ayuda de la herramienta ResearchRabbit, en ellos se clasificó los artículos según su número de citas, siendo el artículo que está en la parte más alta y entrelazada con los demás, el que posee mayor cantidad de citaciones (mayor impacto). También se consideró los aquellos artículos que sean más actuales (en un rango de 2019-2025) por lo que artículos que hayan sido publicados años anteriores a estos no son tomados en cuenta para esta investigación.

Se realizaron 5 búsquedas con las palabras clave que permiten tener información de toda la investigación: Semantic BIM, blockchain en la construcción, Semantic BIM + blockchain, Smart Contracts en la construcción y Ontologías BIM.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Se configuró un mapa de red tomando en cuenta los artículos más recientes y que coincidan con el criterio de búsqueda “Semantic BIM”.

Figura 6

Mapa de red con enfoque: Semantic BIM



Nota. Adaptado de ResearchRabbit

Se configuró un mapa de red tomando en cuenta los artículos más recientes y que coincidan con el criterio de búsqueda “Blockchain en la construcción”.

Figura 7

Mapa de red con enfoque: Blockchain en la construcción

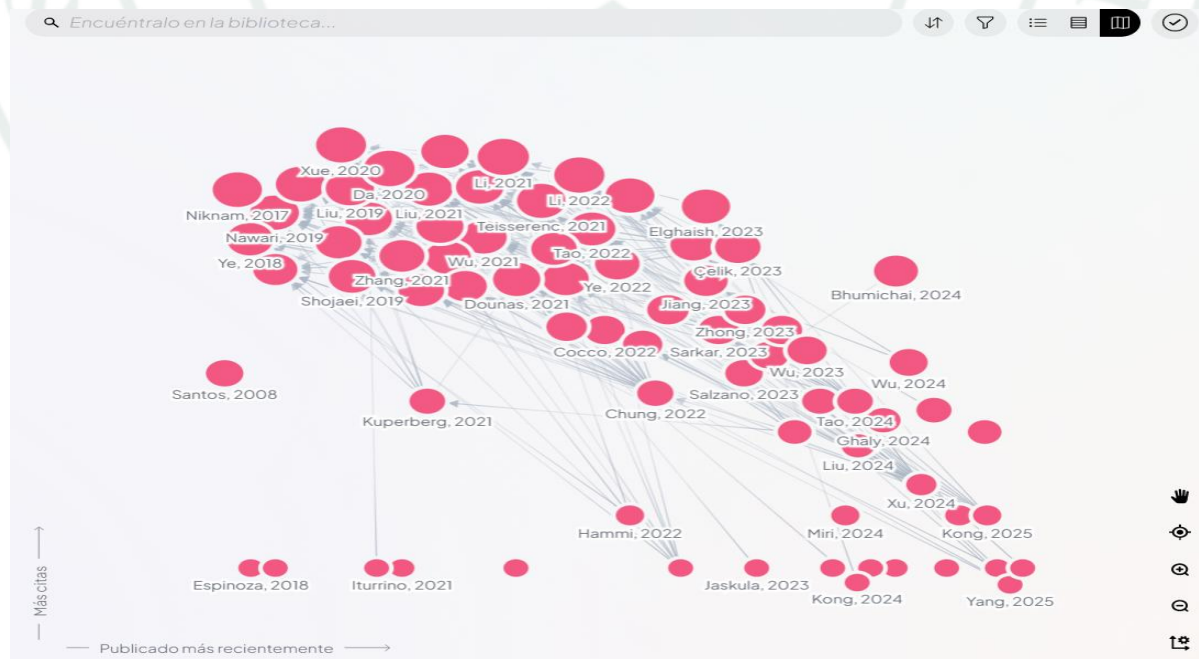


Nota. Adaptado de ResearchRabbit

Se configuró un mapa de red tomando en cuenta los artículos más recientes y que coincidan con el criterio de búsqueda “Semantic BIM + Blockchain”.

Figura 8

Mapa de red con enfoque: Semantic BIM + Blockchain

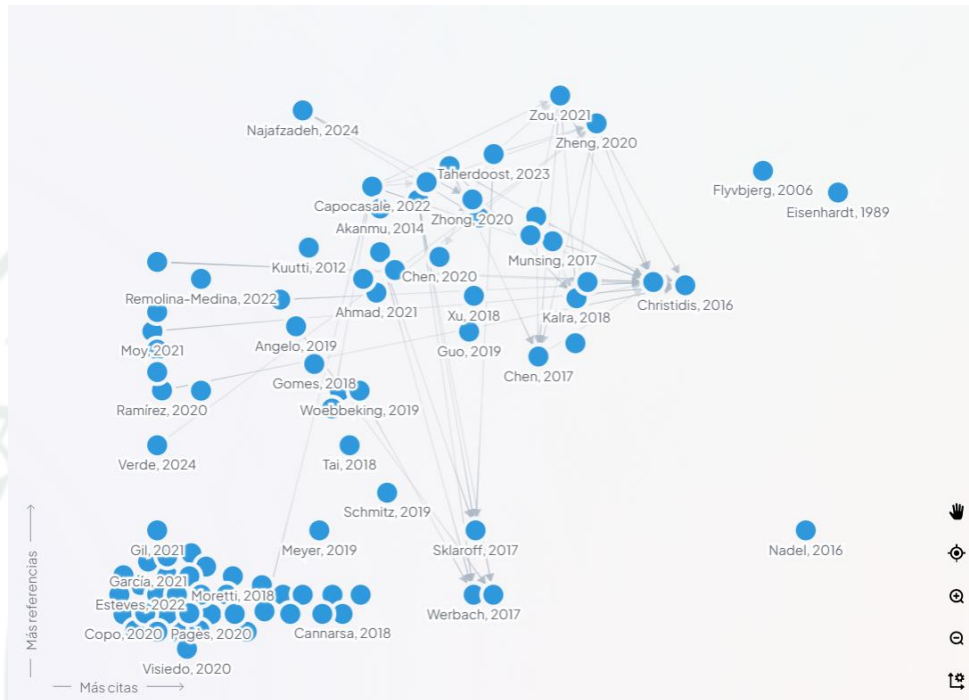


Nota. Adaptado de ResearchRabbit

Se configuró un mapa de red tomando en cuenta los artículos más recientes y que coincidan con el criterio de búsqueda “Smart Contracts en la construcción”.

Figura 9

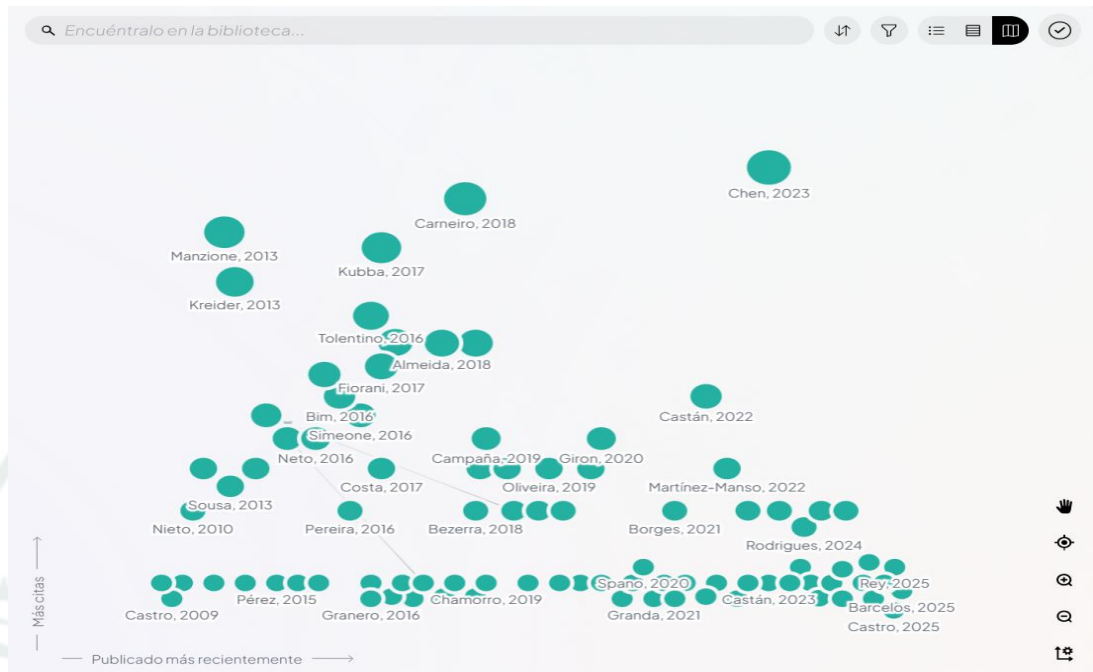
Mapa de red con enfoque: Smart Contracts en la construcción



Nota. Adaptado de ResearchRabbit

Se configuró un mapa de red tomando en cuenta los artículos más recientes y que coincidan con el criterio de búsqueda “Ontologías BIM”.

Figura 10
Mapa de red con enfoque: Ontologías BIM



Nota. Adaptado de ResearchRabbit

En la siguiente tabla, se hace un análisis de las búsquedas realizadas seleccionando los 3 primeros autores más representativos según su nivel de impacto (cantidad de citaciones) encontrados por la herramienta de búsqueda utilizada. De cada uno se analiza su aporte principal, limitaciones identificadas, número de citas y la fuente principal donde fue subido el artículo. De esta manera se obtienen de fuentes más confiables los avances más recientes y la identificación de las brechas existentes que sustentan la propuesta de la presente investigación

Tabla 7

Revisión de literatura avances más recientes

Ítem	Tema/ Enfoque	Autores representativos	Aporte principal	Limitaciones identificadas	Número de citaciones	Fuente principal
1	Semantic BIM	(Tao et al., 2021)	Superar los riesgos de los sistemas centralizados tradicionales como la manipulación de datos, la pérdida de trazabilidad o la denegación de acceso. Ofrece un modelo donde los cambios en los modelos son registrados de forma irreversible mediante blockchain, y los archivos BIM grandes se almacenan eficientemente mediante IPFS.	- La propuesta se queda a nivel de demostración - Esta integración todavía exige una infraestructura tecnológica avanzada y cambios organizativos importantes, lo cual puede dificultar su implementación en empresas tradicionales de construcción. - Deja un vacío en cuanto a robustez, normas y estándares.	122	<i>Automation in Construction</i>
		(Dounas et al., 2021)	Se enfoca en analizar las limitaciones del enfoque tradicional del <i>Building Information Modeling</i> (BIM) en cuanto a colaboración y confianza entre los actores del proyecto, y presenta un prototipo que integra la optimización de diseño en BIM con un	- El estudio se mantiene en una fase exploratoria - Requiere una infraestructura tecnológica y organizativa - Confianza en la tecnología frente a la confianza en los equipos humanos:	97	<i>International Journal of Architectural Computing</i>

			mecanismo blockchain, validando la viabilidad inicial del marco.			
		(Sigalov et al., 2021)	Los autores diseñan el sistema “BIMcontracts” donde los datos del contrato y de pago provenientes de modelos BIM y documentos de licitación digitales se transfieren a un contrato inteligente que ejecuta automáticamente los pagos, una vez que el trabajo es aceptado por el cliente.	- Sigue siendo un prototipo de laboratorio o piloto. - La solución considera infraestructura ya bastante digitalizada; no aborda profundamente cómo funcionaría en empresas con bajo nivel de digitalización. - Para que el contrato inteligente tenga validez legal, aún se requiere que parte del contrato tradicional (en papel) se firme y registre	83	<i>Applied Sciences</i>
2	Blockchain en la construcción	(Li et al., 2019)	Revisión sistemática sobre cómo aplicar la tecnología blockchain en la industria de la construcción. Propone modelos conceptuales y casos prácticos que proponen mejorar la trazabilidad, la transparencia y la gestión de la información en los proyectos.	La mayoría de las aplicaciones aún son teóricas o experimentales, con poca validación en proyectos reales.	595	Automation in Construction
		(Perera et al., 2020)	Agrupar y sintetizar las distintas formas en que blockchain está	- Poca evidencia a escala real	432	Journal of Industrial

			siendo usada, por ejemplo, en trazabilidad de materiales, gestión de contratos o supervisión de obras; así como en mapear las conexiones entre los “qué” y “cómo” de esta tecnología en entornos AEC	- Escasa integración de blockchain con otros sistemas claves del sector de la construcción. - Falta de estándares comunes, resistencia al cambio.		Information Integration
		(Yang et al., 2020)	Presenta una visión clara de cómo las tecnologías de blockchain, tanto públicas como privadas, pueden integrarse en los procesos de negocio de la construcción para mejorar la gestión y el intercambio de información	- Muchas aplicaciones permanecen en fase conceptual o de prueba. - Retos técnicos y organizativos como interoperabilidad, estándares compartidos, gobernanza de los datos y resistencia al cambio por parte de los actores tradicionales de la industria.	419	<i>Automation in Construction</i>
3	SemanticBI M + Blockchain	(Kassem & Li, 2021)	El artículo analiza las aplicaciones de la tecnología de registros distribuidos (DLT) y los contratos inteligentes basados en blockchain en la industria de la construcción. Propone un marco conceptual para automatizar la gestión contractual, mejorar la	Se limita a un análisis conceptual sin validación empírica o casos de estudio. No se abordan los costos de implementación ni los desafíos legales asociados al uso de contratos inteligentes en entornos reales.	421	IEEE Transactions on Software Engineering

			transparencia y reducir disputas mediante la trazabilidad digital.		
		(Nawari & Ravindran, 2019)	Realizan una revisión de la integración de BIM con blockchain en contextos de reconstrucción post-desastre; examinan aplicaciones, escenarios y retos para la industria AEC.	Enfoque mayormente conceptual, con pocas implementaciones reales; falta medición de costes, rendimiento y barreras operativas concretas.	210 <i>Automation in Construction</i>
		(Xue & Lu, 2020)	Presentan un enfoque denominado “Semantic Differential Transaction (SDT)” para minimizar la redundancia de información en la integración BIM-Blockchain, validado en dos casos pilotos.	Validación limitada (solo dos pilotos); enfoque técnico que requiere más estudios de campo y medición de impacto real en obra.	225 Revista de Tecnología de la Información en la Construcción
4	Smart Contracts en la construcción	(Underwood & Isikdag, 2016)	Introducen uno de los primeros marcos conceptuales que relacionan <i>Building Information Modelling (BIM)</i> y <i>blockchain</i> , proponiendo un sistema para la trazabilidad y la seguridad de los datos durante el ciclo de vida del proyecto.	Modelo teórico sin validación empírica; no aborda interoperabilidad entre plataformas BIM ni escalabilidad del sistema blockchain.	420 IEEE Transactions on S Engineering

		(Turk & Klinc, 2017)	Plantean una de las primeras discusiones críticas sobre cómo blockchain puede integrarse en la construcción digital, destacando ventajas en contratos inteligentes, certificación de materiales y gestión documental.	Carencia de pruebas de implementación; análisis centrado en potencial y no en resultados cuantificables; falta de marco normativo.	530	Frontiers of Engineering Managemen
		(Perera et al., 2020)	Desarrollan un marco sistemático que combina <i>Internet of Things (IoT)</i> , <i>blockchain</i> y <i>Big Data</i> para mejorar la trazabilidad y la transparencia en la cadena de suministro de la construcción.	Enfoque generalista; aplicación limitada al contexto BIM; complejidad de integración tecnológica y altos costos de implementación.	680	EEE transactions on intelligent transportation systems
5	Ontologías BIM	(Alreshidi et al., 2023)	Propone un marco de integración entre BIM, blockchain y el Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la transparencia y trazabilidad de los proyectos constructivos. Destaca el uso de contratos inteligentes para automatizar aprobaciones y certificaciones.	A pesar de su enfoque integral, el estudio se limita a simulaciones conceptuales sin validación en obras reales. Los costos computacionales y la resistencia institucional son retos identificados.	563	Ge-conservación
		(González et al., 2023)	Evalúa el uso de <i>Semantic BIM</i> en la gestión de proyectos públicos en América Latina, con énfasis en la interoperabilidad de	Limitada muestra de proyectos analizados; dependencia de datos secundarios; falta de	451	Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación

	datos y la reducción de inconsistencias técnicas en expedientes.	comparación con metodologías digitales basadas en blockchain.		
(Li et al., 2022)	Desarrolla una metodología para la preservación del patrimonio cultural utilizando BIM y blockchain, enfocándose en la trazabilidad de intervenciones y autenticidad de materiales. Presenta un prototipo operativo aplicado a edificios históricos.	Enfoque centrado en conservación patrimonial, no directamente transferible a obras públicas nuevas. Limitaciones en escalabilidad y costo de implementación.	436	Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación

Nota: Identificación de la información con mayor relevancia en torno al tema investigado.

De este análisis se puede deducir que, aunque existen avances significativos en la integración de BIM con blockchain y en la aplicación de ontologías para enriquecer los modelos, muchos de los estudios se mantienen en fases conceptuales, prototipos o de validación experimental. Esto demuestra la necesidad de propuestas que combinen interoperabilidad semántica con mecanismos verificables de trazabilidad, como la que se plantea en esta investigación.

4.2. Casos de éxito en validación constructiva automatizada.

En la literatura estudiada se describen varios prototipos y pilotos que combinan BIM, enriquecimiento semántico, almacenamiento distribuido (IPFS) y blockchain con el propósito explícito de automatizar validaciones técnicas, anclar evidencias de obra y mejorar la trazabilidad de decisiones. Estos desarrollos no solo ilustran el potencial tecnológico, sino que ofrecen lecciones directas sobre cómo diseñar un piloto en la modalidad Núcleo Ejecutor.

Uno de los prototipos más citados es el denominado “Blockchain-supported BIM data provenance model” propuesto por Çelik et al. (2023). Este trabajo presenta un marco experimental para garantizar la procedencia y la integridad de los datos BIM mediante el uso de blockchain, para la firma y registro inmutable de eventos y un front-end que permite interactuar con smart contracts. En su evaluación experimental, ejecutada en un entorno controlado y probada sobre ejemplos de intercambio de información, el modelo demostró capacidad para reconstruir la secuencia de cambios, detectar modificaciones no autorizadas y facilitar auditorías de origen de datos; sin embargo, los autores subrayan que el enfoque requiere arquitecturas híbridas (hashes on-chain + almacenamiento off-chain) para ser viable en proyectos reales por razones de coste y rendimiento. Estas conclusiones muestran un patrón aplicable a núcleos ejecutores: la trazabilidad se logra técnicamente, pero exige decisiones de diseño arquitectónico para la escalabilidad.

Otro aporte práctico es el prototipo presentado en “Multi-person collaborative design model of BIM drawing based on blockchain and IPFS” (Wang et al., 2022). Los autores implementaron un sistema que combina IPFS para almacenamiento distribuido de ficheros BIM grandes y blockchain para registrar metadatos y versiones. En la prueba de concepto se obtuvo transparencia en el control de versiones y una mejora en la protección de la autoría y los derechos de edición, lo que reduce disputas por versiones y facilita la reconstrucción histórica de cambios en el modelo. Para la validación

constructiva automatizada, este tipo de arquitectura es relevante porque permite declarar qué versión del modelo respalda una certificación técnica y, por tanto, sirve como evidencia en procesos de verificación o en la liberación condicionada de pagos. No obstante, los autores observan que la robustez del sistema depende de políticas de gobernanza sobre quien puede escribir en el ledger y cómo se integran los oráculos que ligán la evidencia de campo al registro digital.

En trabajos orientados a la automatización de reglas técnicas, Building information management (BIM) and blockchain for sustainable building design information management framework”. Por otro lado, Liu et al. (2019) describe un flujo en el que las reglas de diseño y requisitos normativos se transforman en condiciones evaluables sobre el modelo (reglas ejecutables). Al combinar este enriquecimiento semántico con registros inmutables (blockchain) se consigue que las comprobaciones de conformidad (por ejemplo: espesor, clases de material o cumplimiento normativo) queden documentadas de forma reproducible y auditable. La lección práctica es clara: para que la validación sea automatizada y fiable es imprescindible definir una ontología mínima, atributos y vocabulario técnico, que permita traducir requisitos contractuales o normativos en reglas computables. Sin esa semántica, los sistemas muestran un alto número de falsos positivos/negativos en las comprobaciones automáticas.

En el ámbito de la automatización administrativa, la revisión sistemática “Systematic literature review on smart contracts in the construction industry” (Ye et al. 2022) sintetiza experiencias en las que los smart contracts se utilizan para liberar pagos al comprobar que determinadas condiciones (extraídas del modelo BIM y/o de oráculos IoT) se han cumplido. Los casos prácticos revisados indican reducciones medibles en tiempos de conciliación y en disputas por hitos, pero también alertan sobre dos cuellos de botella: (1) la necesidad de oráculos fiables que conviertan pruebas físicas en datos firmables y (2) marcos legales y procedimentales que reconozcan la validez de las ejecuciones automáticas. Para el contexto de Núcleo Ejecutor esto implica que cualquier piloto debe contemplar acuerdos contractuales previos que estipulen la validez jurídica de los desencadenantes automáticos.

Revisiones recientes (p. ej. Nawari & Ravindran, 2019; Xu et al., 2024) agrupadas en análisis mixtos muestran un patrón: los prototipos y pilotos (post-desastre, cadenas de suministro, proyectos de edificación piloto) alcanzan eficiencias en trazabilidad y en reducción de errores formales, pero la mayor parte de la evidencia sigue siendo de escala

reducida y académica. Las limitaciones técnicas recurrentes son interoperabilidad semántica (mapeo IFC/ontologías), costes de transacción y latencia en blockchain públicas, y la fragilidad de la prueba del mundo físico (problema de oráculos). Desde la perspectiva de adopción, la conclusión práctica es que la validación automatizada debe implementarse como arquitectura híbrida (blockchain permissionada + off-chain para ficheros + ontología local) y con un paquete de gobernanza y procedimientos que definan roles, derechos y responsabilidades.

Para aterrizar estas lecciones en un piloto aplicable al Núcleo Ejecutor en Arequipa, los casos de éxito analizados recomiendan un diseño por etapas: (1) definir una ontología mínima del expediente técnico (atributos críticos: categoría de material, especificación norma, tolerancia dimensional, responsable de firma); (2) usar IPFS u otro sistema de almacenamiento distribuido para modelos y documentos pesados, anclando solo hashes en una blockchain permissionada (p. ej. Hyperledger) para control de acceso y menores costos; (3) probar smart contracts que automática y condicionalmente registren la aceptación de hitos (cuando la regla semántica y las evidencias de campo coincidan); y (4) instrumentar métricas claras (reducción de RFIs, tiempo de validación, % de incongruencias detectadas antes de obra) para evaluar el impacto antes de escalar. Estos pasos se sustentan en experiencias publicadas que demostraron mejoras operativas en entornos controlados, y constituyen un camino pragmático para validar la hipótesis de esta tesis en un entorno real de Núcleo Ejecutor.

4.3. Aplicaciones de Blockchain en control de obras y contratos.

La tecnología blockchain ha ido aumentando cada vez más su popularidad en varios ámbitos como lo es en la construcción, representa una herramienta con un gran potencial para la transformación de la gestión de obras públicas y privadas, especialmente para controlar procesos y la administración contractual. Se puede entender su concepto como un libro mayor descentralizado, permanente e inmutable, en el que cada transacción o registro no puede alterarse sin consenso entre los participantes. Varios estudios coinciden en que su aporte más importante en la construcción es la transparencia, trazabilidad e inmutabilidad de la información permitiendo una revolución en los procesos de validación, registros, seguridad mejorada y ejecución de los procesos en la construcción.

Según Salgado (2021), blockchain (cadena de bloques) es una novedosa tecnología que permite intercambiar información por medio de codificaciones totalmente

seguras e inalterable. La información es descentralizada y está dividida en nodos independiente. Cada participante de la cadena lleva una copia precisa de la información permitiendo tener transacciones trazables e imposible de falsificar. También menciona que la integración de blockchain con el sistema BIM permite que exista versiones inmutables y verificables del modelo digital de los proyectos. Así se puede hacer un seguimiento muy preciso de todos los cambios o modificaciones que se realizan en las fases constructivas: diseño, ejecución y supervisión, permitiendo un control más exacto de los procesos en la construcción y evitando la manipulación de la información, así como las discrepancias por variaciones o diferencias en la documentación técnica.

Para el ámbito jurídico y contractual, del puente (2022) menciona que los “Smart Contracts” conocidos como contratos inteligentes basados en blockchain simbolizan un instrumento muy eficaz para la automatización de las obligaciones entre todas las partes. Cuando se cumplen las condiciones que fueron establecidas previamente se crean contratos que se ejecutan automáticamente, por ejemplo, liberando pagos al contratista una vez que se verificó el avance en la obra o también el registro de las aprobaciones del lado de supervisión de una forma transparente.

En la industria de la construcción, las obras involucran a varios actores (autoridades, contratistas, supervisores y proveedores) y muchos hitos de ejecución, que incluyen revisiones, certificaciones, entrega de materiales y progresos físicos. Blockchain facilita el registro de cada uno de estos hitos de modo inalterable, lo que hace que el proceso sea más transparente y trazable.

Según la tesis de Alava (2025) de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador presentó un diseño que utiliza la plataforma Hyperledger Fabric para supervisar proyectos de construcción. Este sistema conecta a los principales participantes, elimina información dispersa y mejora la efectividad del proyecto. Señala que la integración con la tecnología blockchain condujo una ganancia de 14.75% en un proyecto en el proceso de trazabilidad de materiales.

Con este registro se documentan aspectos:

- Validación del avance físico por supervisión con evidencias (fotos, modelo BIM, certificados, etc.).
- Entrega de materiales al lugar de la obra registrando proveedor, lote, hora, etc.

- Confirmación final de un hito de obra (vaciado de losa, comprobación de instalaciones o instalación de estructura) con firma digital.

Siendo las ventajas fundamentales: inmutabilidad del registro, transparencia entre las partes y acceso verificable, y reducción de disputas al tener evidencia confiable del estado de la obra.

La tecnología blockchain se une con modelos digitales de construcción como por ejemplo BIM (Building Information Modeling) adicionándole su versión enriquecida semánticamente (Semantic BIM). Según Fernández (2023) en obras e infraestructura, los datos del modelo (elementos constructivos, fases, responsables, revisiones) pueden “subirse” a la cadena de bloques mediante API y Smart Contracts, de modo que cada cambio esté documentado, versionado y validado.

La interoperabilidad se mejora pues todos los actores operan sobre una infraestructura común, los cambios quedan trazados, y las “actualizaciones” del expediente técnico, los planos, los metrajes o las certificaciones se convierten en eventos verificables en la cadena.

4.4. Contexto local: modalidad de Núcleo Ejecutor en Arequipa

4.4.1. Marco normativo y operativo del Núcleo Ejecutor.

En la siguiente tabla, se presentan las normas, leyes o manuales que permiten regular el funcionamiento del sistema de Núcleo Ejecutor en todos sus procesos y la participación de la comunidad. Así también, normas complementarias que regulan la ejecución de obras públicas.

Tabla 8*Marco normativo y operativo de los Núcleos Ejecutores*

Normativa	Aplicación en Núcleo Ejecutor
Manual de Operaciones de FONCODES (Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social, 2017)	Documento normativo que regula el funcionamiento técnico y operativo del programa. Comprende los procedimientos para la formulación, ejecución y supervisión de los proyectos y los lineamientos para la participación de Núcleos Ejecutores como un mecanismo para la gestión comunitaria, así también como las competencias de sus unidades orgánicas.
Ley N° 31015 (Ley de autorización de intervenciones en infraestructura social básica, productiva y natural, mediante núcleos ejecutores). (Congreso de la República, 2020)	Autoriza la realización de proyectos de infraestructura social básica, productiva y ambiental mediante la modalidad de Núcleos Ejecutores, fomentando la intervención activa de la comunidad en la administración de obras públicas.
Ley N° 27783 (Ley de Bases de la Descentralización) (Congreso de la República, 2002)	Define los principios de la participación ciudadana, descentralización y fortalecimiento en la administración de los gobiernos locales
Ley N.º 28522 (Ley que regula la participación de los Núcleos Ejecutores en la ejecución de obras públicas).	Da el reconocimiento de organizaciones comunitaria al sistema de Núcleo Ejecutor que está autorizado para ejecutar obras con recursos públicos.

(Congreso de la República,
2005)

Ley N.º 30225 (Ley de Contrataciones del Estado y su Reglamento (D.S. N.º 344-2018-EF))	Es un complemento para el conocimiento de las adquisiciones y la contratación de servicios realizados por los Núcleos Ejecutores.
---	---

(Ministerio de Economía y Finanzas, 2018)

Nota: Normativas nacionales e internacionales relacionadas al tema investigado.

4.5. Dificultades en la trazabilidad y gestión documental.

En la modalidad de Núcleo Ejecutor en Arequipa, la trazabilidad y la gestión documental constituyen uno de los principales puntos críticos dentro del ciclo de ejecución de obras públicas. Si bien este modelo ha promovido una mayor participación de las comunidades en la gestión de los recursos, la ausencia de herramientas tecnológicas integradas y la falta de procedimientos estandarizados para el control documental generan una serie de ineficiencias que impactan directamente en la transparencia, la coordinación técnica y la fiscalización de los proyectos.

En la práctica, los expedientes técnicos, los informes de avance y las valorizaciones se manejan de forma descentralizada entre diferentes actores, utilizando formatos disímiles (planillas, documentos Word o copias físicas), lo que complica la trazabilidad de la información a lo largo de las etapas del proyecto. La ausencia de un repositorio digital único y de protocolos claros para registrar quien genera o modifica un documento impide reconstruir con precisión la secuencia de validaciones, generando demoras en la aprobación de metrados, incompatibilidades entre especialidades y pérdida de control sobre la evolución del expediente técnico. Este problema se agrava en los casos donde la supervisión y la ejecución son realizadas por entidades distintas, lo que deriva en duplicidad de archivos y versiones contradictorias de un mismo documento.

Estas dificultades son coherentes con lo que señalan Wang y Plume (2012), quienes identifican que, en el sector construcción, no existen procesos de control documental claramente definidos ni estándares ISO ampliamente adoptados, lo cual explica la persistente falta de coherencia y trazabilidad en los flujos de información. En

los proyectos bajo modalidad Núcleo Ejecutor, esta carencia se traduce en que los procesos de revisión y validación técnica dependan casi por completo del criterio individual de los profesionales a cargo, sin un sistema que garantice integridad o sincronización entre documentos.

La literatura especializada evidencia además que los métodos tradicionales de gestión de la información en obra poseen baja eficiencia en la divulgación y rastreo de los datos, dificultando la identificación del origen de errores o desviaciones. Li et al. (2022) sostienen que los mecanismos convencionales de trazabilidad documental presentan una “eficiencia de divulgación significativamente menor” frente a métodos basados en blockchain, lo que demuestra que la falta de un sistema automatizado obstaculiza el seguimiento transparente de la calidad y la ejecución. Esta observación coincide con la realidad de los núcleos ejecutores, donde la documentación de obra rara vez conserva un registro histórico verificable de cambios o aprobaciones.

Por otro lado, Davari et al. (2023) destacan que la mayoría de los estudios y prácticas en trazabilidad de la industria de la construcción se centran en aspectos aislados, como la gestión de documentos o el control de cambios, pero no abordan de forma integrada las relaciones entre procesos, normas y actores. Esta fragmentación teórica refleja lo que ocurre en la práctica: cada área del Núcleo Ejecutor (residente, supervisor, comité, unidad ejecutora) gestiona su propio conjunto de documentos sin una estructura común que relacione la información, generando brechas en la coherencia de los expedientes.

Asimismo, investigaciones recientes subrayan que la dispersión y heterogeneidad de los datos es un obstáculo para la trazabilidad efectiva. Rodrigues et al. (2022) señalan que, en la mayoría de los proyectos, los datos “son diversos, dispersos, no correlacionados y difíciles de visualizar”, lo que retrasa la toma de decisiones y la verificación del cumplimiento técnico. En el contexto local, esto se traduce en que la información del Núcleo Ejecutor —como metrados, planos, informes fotográficos y certificaciones— se almacena de manera aislada, sin una estructura semántica o digital que permita vincular automáticamente los elementos del modelo con su evidencia documental.

4.6. Procesos constructivos críticos sin trazabilidad técnica.

Persisten deficiencias significativas en la trazabilidad técnica de los procesos constructivos, especialmente durante las etapas de ejecución y control de calidad. Aunque

este modelo busca promover la participación local y la eficiencia en la ejecución de obras menores, su estructura operativa todavía depende de mecanismos manuales de registro y validación técnica. Esta condición provoca que gran parte de las actividades constructivas, como el control de materiales, la supervisión de partidas o la verificación de metrados, carezcan de un seguimiento digital continuo que garantice la integridad y coherencia de los datos técnicos.

Los procesos críticos, como el control de calidad de los materiales, la supervisión estructural y el registro de avances, son los más afectados por la falta de trazabilidad. Los resultados de ensayos, certificados de laboratorio o reportes fotográficos suelen archivar en formatos físicos o dispersos en correos electrónicos y dispositivos personales, dificultando su vinculación con el expediente técnico digital. Esta desconexión entre los datos de campo y los documentos técnicos impide reconstruir de manera verificable la secuencia constructiva, comprometiendo la transparencia y la validación posterior de las etapas de obra.

Según Celik et al. (2023), la ausencia de interoperabilidad entre las herramientas digitales utilizadas en los procesos constructivos genera duplicación de información, pérdida de datos relevantes y falta de trazabilidad en las decisiones técnicas. De manera similar, Xu et al. (2024) afirman que, en proyectos públicos, la gestión documental tradicional no garantiza la integridad de la información técnica durante el ciclo de vida del proyecto, lo que conduce a inconsistencias entre el diseño y la ejecución. En el caso de los núcleos ejecutores, estas limitaciones se acentúan por la falta de plataformas colaborativas que integren a residentes, supervisores, proyectistas y autoridades bajo un mismo entorno digital.

Un aspecto crítico identificado en la literatura es la escasa vinculación entre los controles de calidad y los elementos modelados o diseñados. Mahmudnia et al, (2022) sostienen que esta desconexión entre los registros de ensayos y los componentes constructivos es una de las principales causas de errores acumulativos en obra, ya que los resultados de laboratorio rara vez se relacionan de forma automática con las partidas ejecutadas. Esto limita la trazabilidad técnica y dificulta la verificación del cumplimiento de las especificaciones contractuales o normativas.

Además, estudios como los de Hijazi et al. (2021) y León Pineda (2024) destacan que la trazabilidad técnica solo puede consolidarse mediante la integración de tecnologías

colaborativas como BIM y blockchain, las cuales permiten registrar, verificar y autenticar cada acción constructiva en tiempo real. Sin embargo, en el modelo Núcleo Ejecutor, la ejecución sigue sustentándose en flujos de información fragmentados, donde los reportes de obra, las valorizaciones y los planos actualizados no se vinculan digitalmente, generando una brecha entre la planificación, el control y la supervisión.

En este contexto, los procesos constructivos más vulnerables a la falta de trazabilidad técnica son:

- Control de materiales y ensayos de calidad, debido a la ausencia de un sistema que relacione resultados de laboratorio con las partidas ejecutadas.
- Supervisión estructural y de instalaciones, por la falta de registros digitales que documenten modificaciones o ajustes realizados en campo.
- Control de metrados y valorizaciones, por la inexistencia de mecanismos automáticos que comparen el avance físico real con el proyectado.

En consecuencia, la carencia de trazabilidad técnica en los procesos constructivos del Núcleo Ejecutor no solo limita la eficiencia y el control de calidad, sino que también incrementa los riesgos de sobrecostos, demoras y errores técnicos no detectados a tiempo. Frente a estas limitaciones, la integración de metodologías como Semantic BIM y blockchain representa una oportunidad de innovación, ya que permitiría enlazar de forma automática los registros de obra con la información digital del proyecto, generando una validación constructiva automatizada que garantice la confiabilidad y trazabilidad de los datos técnicos.

4.7. Entrevistas a residentes de obra de los 3 proyectos

El presente apartado tiene como finalidad identificar problemáticas constructivas recurrentes en proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor, a partir de la experiencia directa de profesionales involucrados en su ejecución. Esta etapa constituye la base para la posterior formulación del sistema de validación constructiva automatizada, permitiendo alinear la propuesta tecnológica con necesidades reales del contexto.

Las entrevistas realizadas a los residentes de obra de los tres proyectos seleccionados tuvieron como finalidad identificar y sustentar la problemática común en

los procesos de supervisión y validación de la información técnica, más no formar parte del campo de verificación de la propuesta metodológica.

4.7.1. Formato de entrevista

Se realizó una entrevista dirigida a profesionales que participaron directamente en la ejecución y supervisión de proyectos CunaMás bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor, específicamente en los proyectos de La Colina, Aplao y Majes, pertenecientes a la región Arequipa.

El cuestionario estuvo estructurado en tres secciones que abordan aspectos relacionados con el perfil del entrevistado, las problemáticas técnicas y de información, y las deficiencias en la trazabilidad, transparencia y control documental. En total, se formularon diez (10) preguntas orientadas a identificar las causas más recurrentes de incoherencias entre planos y la falta de atributos normativos/técnicos en los expedientes técnicos y durante la ejecución de las obras.

4.7.2. Modalidad de entrevista

Las entrevistas realizadas en la presente investigación corresponden a un enfoque cualitativo de tipo exploratorio, empleando la técnica de entrevistas semiestructuradas, las cuales permiten obtener información detallada y contextualizada a partir de la experiencia directa de los participantes.

En investigaciones de enfoque cualitativo, el tamaño de la muestra no se establece mediante criterios estadísticos, sino en función de la profundidad de la información obtenida y el nivel de saturación teórica alcanzado. En el contexto de la ingeniería civil, la identificación de problemáticas técnicas puede sustentarse en la experiencia directa de los responsables de obra, priorizando la calidad y pertinencia de la información sobre la cantidad de participantes. Diversos autores señalan que estudios cualitativos pueden desarrollarse con muestras pequeñas, siempre que permitan comprender el fenómeno de estudio en profundidad (Vasileiou et al., 2018).

Estas entrevistas fueron dirigidas a tres (03) profesionales que desempeñaron el cargo de residentes de obra en proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor del programa Cuna Más, ubicados en distintas zonas de la región Arequipa. La selección de los participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico por criterio, considerando como criterios de inclusión: experiencia directa en ejecución de obras bajo

dicha modalidad, participación en procesos constructivos completos y conocimiento de problemáticas técnicas en campo.

Asimismo, la selección de los tres especialistas se considera adecuada en la medida en que permitió identificar patrones consistentes en las respuestas, alcanzando un nivel de saturación teórica suficiente para los fines de la investigación. La saturación teórica se evidenció cuando las entrevistas realizadas no aportaron nueva información relevante, sino que reforzaron patrones previamente identificados. En particular, los especialistas coincidieron en los principales criterios de análisis, lo que permitió consolidar categorías consistentes y suficientes para responder a los objetivos de la investigación. En este sentido, la redundancia y convergencia de las respuestas sustentan que el número de participantes fue adecuado.

Es importante precisar que las entrevistas realizadas no tienen como finalidad la validación estadística de la propuesta ni la generalización de resultados, sino la identificación exploratoria de problemáticas recurrentes en el contexto de estudio. En ese sentido, el número de participantes responde a un enfoque cualitativo basado en profundidad analítica más que en representatividad muestral.

Las entrevistas se realizaron de manera semipresencial, combinando reuniones virtuales (plataforma Google Meet) y visitas técnicas a las obras, según la disponibilidad de los participantes. Cada entrevista tuvo una duración aproximada de 25 a 30 minutos, permitiendo recopilar información detallada sobre los procedimientos constructivos, la gestión de la documentación técnica y las principales dificultades encontradas durante la ejecución de los proyectos.

A continuación, se presentan las tablas resumen por pregunta:

Tabla 9

Pregunta 1 realizada en la entrevista

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 1: ¿Podría indicarme su formación profesional, especialidad y experiencia en gestión o ejecución de obras públicas bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	Yo me gradué de arquitecto en el año 2000. En ese tiempo, se presentó un sismo en Arequipa, un sismo fuerte, que me dio la oportunidad de viajar a Tacna a conocer ese trabajo mediante núcleos ejecutores a través de FONCODES. Este fue creado en el gobierno inicial de Alberto Fujimori. Y FONCODES trabajaba en un convenio con el Banco Interamericano. La premisa era que el Banco daba plata a FONCODES y quería agilizar los proyectos, haciendo que no entre por los ministerios o municipios, de tal manera que se evitaban las licitaciones y todo lo que involucra una obra pública. Así se creó la modalidad de núcleo ejecutor. Esta modalidad es básicamente que se busca una problemática en una comunidad a través de gestores y personas especialistas, se contrata a los proyectistas y estos ejecutan. Yo desde el 2000 hasta hace 5 años he trabajado en este proceso, tanto en Foncodes como el Ministerio de Vivienda. Esta alternativa empezó como alternativa, hasta que en el gobierno de Alan García se formalizó como medio de ejecución. Entonces mi experiencia en núcleos ejecutores es bastante amplia, he ejecutado como residente de obra algo de 15 obras.
2° Residente proyecto Aplao (C.S.S)	Actualmente ejecuto estas obras por Núcleo Ejecutor tanto en FONCODES como también en el Ministerio de Vivienda, les llaman casitas calientes en las zonas altoandinas que son módulos de vivienda bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor
3° Residente proyecto Majes (J.I.Q)	Durante todo el tiempo ya después de la colegiatura en arquitectura, me he dedicado a desarrollar proyectos de inversión social en sistemas de administración directa a través de estos convenios entre núcleos ejecutores, municipalidades y FONCODES. Como saben es una

modalidad dentro de la administración directa, y los proyectos que generalmente desarrollé son proyectos de infraestructura de educación, salud y proyectos productivos.

Nota: Primera pregunta elaborada a los entrevistados.

Tabla 10

Pregunta 2 realizada en la entrevista

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 2: ¿Cuántos años de experiencia tiene en el ámbito de la construcción y, específicamente, en la ejecución o supervisión de proyectos de infraestructura social?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	Tengo 20 años específicamente en proyectos de Foncodes
2° Residente proyecto Aplao (C.S.S)	Tengo experiencia en obras alrededor de 24 años, y específicamente en Núcleo Ejecutor tengo un promedio de 18 años.
3° Residente proyecto Majes (J.I.Q)	Como saben, la experiencia se cuenta una vez que el profesional se ha colegiado; en mi caso aproximadamente 30 años de colegiado y dentro de esos 30 años en gran parte he realizado en este sistema de FONCODES.

Nota: Segunda pregunta elaborada a los entrevistados.

Tabla 11

Pregunta 3 realizada en la entrevista

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 3: En su experiencia, ¿cuáles son los errores técnicos o de diseño más frecuentes que se presentan en los proyectos de Núcleo Ejecutor?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	En la modalidad de ejecución, primero se asigna el proyecto y dan el expediente técnico. Ahí viene la primera problemática, para la primera compatibilidad te dan muy poco tiempo. Te suele dar entre 10 a 15 días. Y 15 días para evaluar un proyecto, aunque esté bien hecho o mal hecho, es muy poco tiempo. Solo en revisar metrados, presupuestos sabemos que es mucha demora. Llegar al detalle técnico, detalle de estructuras y detalle arquitectónico es otra demora. Es poco tiempo que nos dan, por lo cual a veces estamos con el proyecto sin tener la convicción de que está perfectamente realizado y comienzan a surgir problemas, evidentemente en el proceso de ejecución. En la modalidad de núcleo ejecutor hay una contrapartida que se llama: aporte comunal, y este es la primera problemática debido a que a veces no está bien valorizado, en el sentido en que en el expediente ese aporte se valoriza, pero no se paga. En la valorización está como como un presupuesto que hay que ejecutarse, pero no se paga, entonces cómo la mano no es pagada, es bien difícil lograr ese aporte. Entonces hay una descompensación fuertísima en quien ejecuta esta parte. de la del expediente que está valorizado cuando el aporte comunal es muy bajo. Es la primera problemática que un residente tiene que enfrentar, es decir, no hay dinero para ejecutar estas partidas, porque si bien porque están valorizadas, hay que ejecutarlas y son parte del proyecto, son parte de la

liquidación y no tengo la mano de obra, entonces esa esa labor de gestión.

La segunda dificultad común que se presenta y que por más que el proyectista tengo evaluador y un proceso de supervisión de obra, se presentan fallas estructurales, arquitectónicas y mayormente fallas de presupuesto.

En Foncodes es bastante difícil que te aprueben un aumento presupuestal, entonces una de las otras problemáticas es que tienes que ver a través de gestiones de cómo saldas este hueco presupuestal, que es el desfase del presupuesto inicial con el ejecutado.

2° Residente proyecto Aplao
(C.S.S)

Uno de los problemas técnicos ha sido la topografía, el proyectista al parecer no ha hecho un levantamiento topográfico preciso. Para ello es recomendable hacer un levantamiento topográfico con estación total porque hasta los drones presentan fallas. La red de distribución de desagüe estaba por encima del terreno propuesto para el proyecto. Ese es un problema de deficiencia del expediente técnico.

Otro problema ha sido la compatibilización de las especialidades, siempre hay problemas entre los que es arquitectura, estructuras y básicamente las instalaciones sanitarias. Como se sabe no se puede atravesar un tubo de 4" en una viga principal, estaríamos debilitando a estructura. Entonces ese nivel de detalle no existía, entonces en obra se tenía que hacer replanteo para poder lograr calidad en la obra.

3° Residente proyecto Majes
(J.I.Q)

En mi experiencia, existe una marcada incompatibilidad entre los expedientes técnicos elaborados por los proyectistas y las condiciones reales del terreno. Como residentes de obra, lo primero que hacemos es verificar en campo la correspondencia entre el expediente y la realidad, revisando planos, metrados, estudios de suelos, topografía y otros componentes.

Además, dentro de los expedientes se presentan frecuentes incompatibilidades entre especialidades —

arquitectura, estructuras e instalaciones—, así como entre los planos, las especificaciones técnicas y las partidas presupuestales. Es común que los proyectistas copien información de otros proyectos, lo que genera desajustes y errores.

Rara vez se encuentra un proyecto completamente coherente; muchos expedientes no respetan las normas técnicas de metrados ni presentan el nivel de detalle necesario en planos o diagramas, lo que dificulta el control de calidad y provoca omisiones en la ejecución.

Nota: Tercera pregunta elaborada a los entrevistados.

Tabla 12

Pregunta 4 realizada en la entrevista

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 4: ¿Qué tan accesible y confiable considera que es la información técnica (planos, memorias, metrados, especificaciones) durante la ejecución de la obra?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	Son proyectos que no son perfectos, es bien difícil encontrar un proyecto perfecto. En el proceso de núcleo ejecutor el proceso de proyecto pasa por dos personas: el proyectista, el evaluador y además Foncodes revisa a través de sus técnicos, entonces el proyecto llega bastante digerido, pero no llega a la perfección, siempre tiene problemas. Sin embargo, como concepto es fácilmente subsanable porque si se le pide una consulta al proyectista, Foncodes le exige que se manifieste en 2 o 3 días.
2° Residente proyecto Aplao (C.S.S)	El problema era como mencioné la compatibilización, otro problema en los proyectos de FONCODES, es de índole social, hay una ley desde la época de Fujimori, quien fue el que creo la normativa legal de Núcleos Ejecutores, que en el caso del pago a los trabajadores está fuera del alcance de los parámetros del régimen de construcción civil. Para su pago existe una ley especial donde solamente se les paga el jornal, pero todos los beneficios sociales no se les cancela. Ese es un punto clave que debe de verificarse puesto que la mano de obra es un

	componente muy importante en la ejecución y para poder tener trabajadores calificados en todas las especialidades se requiere que sus honorarios sean de acuerdo con el régimen de construcción civil. Eso se puede superar pagando por tareas en vez de por jornal.
3° Residente proyecto Majes (J.I.Q)	Los expedientes no siempre son completamente confiables, por eso, como residente, siempre verifico que los metrados correspondan al proyecto. En muchos casos es necesario volver a medir, lo cual resulta tedioso, pero es indispensable para asegurar la responsabilidad técnica. Al recibir un proyecto, se elabora un informe de compatibilidad donde se revisa todo el expediente para determinar si es ejecutable o requiere correcciones. En cuanto a la accesibilidad, la información técnica es directa para el residente, el supervisor y el equipo técnico, pero suele ser limitada para terceros, como la comunidad en los proyectos del Núcleo Ejecutor.

Nota: Cuarta pregunta elaborada a los entrevistados.

Tabla 13

Pregunta 5 realizada en la entrevista

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 5: ¿Existen problemas en la actualización o validación de la información constructiva en tiempo real?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	El proceso tiene sus protocolos, en los asientos del cuaderno de obra se manifiesta. Y tú como residente haces un informe hacia la central de Foncodes comunicando el error y pides una adenda de modificación. Hay procedimientos, no son los óptimos, pero si es más rápido a comparación de otros procesos.
2° Residente proyecto Aplao (C.S.S)	El proyecto Cuna Más fue ejecutado en la época de Ollanta Humala, donde por fuentes de Lima se sabe que la primera dama vio en Francia una estructura de atención a niños, trajo el expediente al Perú y pidió su ejecución. En ese expediente se establecía que todos los pisos de las cocinas y comedores se tenían que poner con microcemento, y en aquella época, no era común usar ese material en Arequipa, por lo tanto, teníamos que

	contratar personal de Lima que capacite a los trabajadores en cómo se usa el microcemento. Más que todo es el hecho que nos implantaron una tecnología que aún en Arequipa no se había desarrollado. Es por eso, que siempre hay que tener en cuenta el entorno al momento de hacer el expediente, porque si no eso genera retrasos y se sabe que en FONCODES no hay ampliaciones presupuestales, lo que existen son las llamadas adendas a modificación.
3° Residente proyecto Majes (J.I.Q)	En ese tiempo la información ha sido en forma física, no teníamos acceso a información digital, a diferencia de actualmente que tenemos acceso a la información digital se hace más fácil su revisión. Un expediente físico es mucho más complicado de contrastar con la realidad.

Nota: Quinta pregunta elaborada a los entrevistados.

Tabla 14

Pregunta 6 realizada en la entrevista

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 6: ¿Cómo se lleva actualmente el control o verificación técnica de los componentes estructurales y materiales?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	El control técnico de los materiales estructurales y de acabado se realiza de forma tradicional, mediante la supervisión directa del residente y del supervisor de obra. Cada vez que se emplea un nuevo material, se solicitan certificados de garantía, ensayos o fichas técnicas emitidas por el proveedor, especialmente para elementos como acero, concreto o pintura. Adicionalmente, se elaboran registros fotográficos de las pruebas de campo y protocolos de control de calidad, sin embargo, todo se maneja en formato físico o mediante comunicación informal. Este sistema depende del criterio del profesional responsable y no de un método automatizado, lo que genera dispersión de información, falta de trazabilidad y poca estandarización en la verificación. La ausencia de una plataforma digital impide validar los datos en tiempo real y reduce la confiabilidad del control técnico.

2° Residente proyecto Aplao
(C.S.S)

Actualmente, el proceso de verificación técnica se limita a las inspecciones presenciales del supervisor o del personal residente, ya que no se cuenta con un área de control de calidad ni con un sistema digital de trazabilidad. FONCODES, como entidad ejecutora, no dispone de mecanismos tecnológicos que permitan asegurar la secuencia de revisión o la correspondencia entre materiales y documentos. Se observa además una brecha en la capacitación técnica del personal y una deficiente comunicación entre los actores involucrados. Esto provoca errores en la recolección y transmisión de datos, duplicidad de informes, pérdida de evidencias fotográficas y una verificación incompleta de la información técnica. Implementar un sistema automatizado permitiría garantizar la trazabilidad de los informes y unificar criterios técnicos para la gestión de materiales y componentes estructurales.

3° Residente proyecto Majes
(J.I.Q)

El control técnico se lleva a cabo en función del presupuesto aprobado y de los expedientes técnicos entregados, sin embargo, al presentarse imprevistos o deficiencias en la información, las correcciones deben realizarse directamente en campo. En estos casos, no se dispone de herramientas digitales que registren los cambios en tiempo real, lo que ocasiona una pérdida de control y dificulta la trazabilidad de las decisiones. Aunque los residentes realizan verificaciones visuales y documentales, el sistema es manual y reactivo, lo que permite que se omitan ciertos detalles o se realicen ajustes sin respaldo documental. La implementación de tecnologías como BIM y blockchain ayudaría a transformar estos procesos en un control preventivo, automatizado y trazable, disminuyendo errores humanos y fortaleciendo la validación técnica.

Nota: Sexta pregunta elaborada a los entrevistados.

Tabla 15*Pregunta 7 realizada en la entrevista*

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 7: ¿Qué dificultades encuentra en el registro y seguimiento de la documentación técnica, certificaciones o modificaciones de obra?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	Una de las principales dificultades radica en la falta de certificaciones verificables de ciertos productos empleados en obra. Muchas veces los proveedores no disponen de fichas técnicas o sellos de garantía válidos en línea, lo que impide comprobar su conformidad con las especificaciones del expediente técnico. En algunos casos, los documentos presentan inconsistencias, como diferencias en el tipo de cemento o en las propiedades del material, generando confusión y errores que pueden comprometer la seguridad estructural. Además, la ausencia de una base de datos digital y la dependencia de documentos físicos retrasan la revisión y aprobación de modificaciones. Un sistema automatizado de registro y validación permitiría verificar la autenticidad de los materiales de manera inmediata, reduciendo las observaciones y fortaleciendo la transparencia técnica.
2° Residente proyecto Aplao (C.S.S)	En el caso de FONCODES, las dificultades más recurrentes se presentan al identificar errores o interferencias durante la ejecución, como en instalaciones sanitarias o desagües. Estas deficiencias técnicas generan adendas y modificaciones posteriores al inicio de obra, lo cual aumenta los plazos y costos del proyecto. El problema principal radica en que los expedientes técnicos no se revisan exhaustivamente ni se cuenta con herramientas digitales para simular o validar las condiciones antes de ejecutar. Con la incorporación de tecnologías como BIM, se podría realizar una revisión anticipada de incompatibilidades, mejorando la coordinación entre proyectistas, supervisores y residentes. Asimismo, un entorno blockchain permitiría registrar automáticamente cada modificación, garantizando su trazabilidad y reduciendo los conflictos administrativos.

3° Residente proyecto Majes (J.I.Q)	Toda la documentación técnica se maneja en formato físico, lo que dificulta la actualización y seguimiento de los cambios en tiempo real. Las modificaciones realizadas en obra se registran manualmente y luego se trasladan al expediente, lo que genera duplicidad de datos y confusión en las versiones. Este proceso, además de ser lento y engorroso, compromete la transparencia y la integridad de la información. La digitalización de la documentación técnica mediante plataformas BIM conectadas a blockchain permitiría que cada cambio quede automáticamente registrado, con fecha, autor y motivo, asegurando así un control documental mucho más eficiente y verificable.
-------------------------------------	---

Nota: Séptima pregunta elaborada a los entrevistados.

Tabla 16

Pregunta 8 realizada en la entrevista

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 8: ¿Existen mecanismos claros de trazabilidad o control que permitan identificar quien, cuándo y cómo se realizaron los cambios en el proyecto?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	No existen mecanismos claros de trazabilidad. Las modificaciones se registran manualmente y no hay una herramienta que permita rastrear con precisión quien realizó un cambio o en qué momento. Esta falta de seguimiento genera desconfianza y dificulta la supervisión técnica, ya que los controles son principalmente presenciales y dependen de la memoria o los informes de los profesionales involucrados.
2° Residente proyecto Aplao (C.S.S)	Los mecanismos actuales de control son informales, basados principalmente en conversaciones entre residentes, supervisores y proyectistas. No existe un sistema centralizado que almacene los cambios realizados ni que garantice su autenticidad. Sería fundamental implementar una plataforma en la nube o una base de datos compartida que registre todas las acciones de los actores involucrados. Un entorno digital como BIM,

	complementado con blockchain, permitiría generar una trazabilidad transparente e inmutable de cada intervención en el proyecto.
--	---

3° Residente proyecto Majes (J.I.Q)	Durante la ejecución no se contó con mecanismos de trazabilidad ni con programa especializado. Todos los cambios se documentaban manualmente en cuadernos de obra o actas físicas, lo que dificultaba conocer quien realizó las modificaciones o bajo qué criterios. La implementación de sistemas automatizados permitiría registrar cada evento con sello temporal y firma digital, fortaleciendo el control documental y la responsabilidad técnica de los profesionales.
-------------------------------------	--

Nota: Octava pregunta elaborada a los entrevistados.

Tabla 17

Pregunta 9 realizada en la entrevista

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 9: ¿Cree que los sistemas actuales garantizan la integridad y veracidad de la información técnica y administrativa?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	Los sistemas actuales solo garantizan parcialmente la integridad de la información, ya que dependen del control interno de cada institución. Aunque existen instancias de fiscalización como la Contraloría o los órganos de control institucional, estas supervisiones no son continuas ni cuentan con una plataforma unificada para la verificación técnica. La falta de interoperabilidad entre áreas provoca pérdida de información y observaciones recurrentes en los expedientes.
2° Residente proyecto Aplao (C.S.S)	El sistema de información técnica manejado por FONCODES, basado en herramientas tradicionales como Microsoft Project, resulta insuficiente para garantizar la veracidad de los datos. No existe conexión entre la planificación, la ejecución y la validación técnica, lo que genera desfase entre los reportes administrativos y las condiciones reales de obra. La implementación de

	metodologías como BIM, integradas con blockchain, permitiría consolidar la información en una sola base de datos, verificable y sincronizada, reduciendo así errores y contradicciones.
--	---

3° Residente proyecto Majes (J.I.Q)	Durante la ejecución del proyecto se utilizaron únicamente herramientas básicas, sin metodologías digitales avanzadas. La ausencia de sistemas integrados impidió garantizar la consistencia de la información técnica. Si se contara con herramientas como BIM, se podría realizar una supervisión más preventiva y coordinada, mientras que blockchain permitiría certificar la autenticidad y el origen de cada registro, reforzando la transparencia administrativa.
-------------------------------------	--

Nota: Novena pregunta elaborada a los entrevistados.

Tabla 18

Pregunta 10 realizada en la entrevista

Entrevistado / Pregunta	Pregunta 10: ¿Cómo considera que el uso de tecnologías como BIM o blockchain podría mejorar la transparencia y control en los proyectos de Núcleo Ejecutor?
1° Residente proyecto La Colina (R.P.T)	La aplicación de BIM y blockchain transformaría completamente la manera en que se controlan y gestionan los proyectos bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor. Estas tecnologías permitirían digitalizar los expedientes técnicos, vincular la información estructural con sus certificaciones y verificar en tiempo real la calidad de los materiales utilizados. Al automatizar los procesos de revisión, se eliminarían los retrasos y errores derivados del manejo físico de documentos, favoreciendo una supervisión más ágil y transparente. Además, garantizarían que cada cambio quede registrado de manera inmutable, reforzando la confianza en la gestión pública.

2° Residente proyecto Aplao (C.S.S)	El uso de estas tecnologías representaría un avance sustancial para los proyectos del Estado. Sin embargo, su éxito depende de la capacitación del personal técnico y de la estandarización de los procesos. BIM permitiría trabajar bajo un mismo entorno digital compartido, donde cada profesional pueda visualizar, analizar y actualizar información en tiempo real. Al integrar blockchain, se aseguraría que toda la información sea trazable, verificable y libre de alteraciones, fortaleciendo la transparencia institucional.
--	--

3° Residente proyecto Majes (J.I.Q)	La implementación de BIM y blockchain en los proyectos de Núcleo Ejecutor sería un paso fundamental hacia la modernización del sector construcción. Estas herramientas permitirían que cada modificación, avance o validación quede registrada automáticamente, reduciendo errores humanos y promoviendo un control más preciso. Con la debida capacitación, el personal podría aprovechar estas tecnologías para optimizar cronogramas, garantizar la integridad de los datos y mejorar la calidad de las obras ejecutadas, generando un impacto positivo en la eficiencia y confianza del sistema.
--	--

Nota: Décima pregunta elaborada a los entrevistados.

4.7.3. Análisis cualitativo de los datos

Para el procesamiento de la información obtenida en las entrevistas semiestructuradas se empleó la técnica de análisis por categorías, propia del enfoque cualitativo, la cual permite organizar, clasificar e interpretar la información en función de temas o patrones comunes identificados en las respuestas de los participantes.

Este proceso se desarrolló siguiendo el modelo de análisis cualitativo propuesto por Miles et al. (2014), el cual comprende tres procesos interrelacionados: reducción de datos, presentación de datos (data display) y elaboración de conclusiones.

En la fase de reducción de datos, se realizó la transcripción literal de las entrevistas y una lectura exhaustiva de las respuestas, lo que permitió identificar patrones y significados recurrentes. Posteriormente, se efectuó la codificación de los fragmentos relevantes, asignando códigos o etiquetas a aquellos contenidos directamente

relacionados con los objetivos de la investigación. Estos códigos fueron posteriormente agrupados en categorías analíticas, permitiendo estructurar la información en función de problemáticas constructivas comunes.

En la fase de presentación de datos (data display), la información fue organizada mediante matrices que facilitaron su análisis comparativo. En primer lugar, se elaboró una matriz de relación entre categorías y entrevistados (Tabla 19), en la cual se sistematizan los fragmentos más relevantes de las respuestas, permitiendo visualizar patrones, coincidencias y diferencias entre los tres casos de estudio.

Posteriormente, se presenta el proceso de sistematización analítica de la información (Tabla 20), donde se detalla el sistema de categorización y codificación, incluyendo la relación con las preguntas planteadas y su correspondiente interpretación.

Finalmente, en la fase de elaboración e interpretación de conclusiones, se analizaron las relaciones identificadas entre categorías, así como la recurrencia y convergencia de las respuestas, lo que permitió identificar problemáticas comunes en los procesos constructivos. Este análisis se refleja en la interpretación asociada a cada categoría, contribuyendo a la comprensión integral del fenómeno estudiado.

Es importante señalar que el análisis desarrollado es de naturaleza cualitativa, por lo que no se emplean herramientas estadísticas inferenciales, sino que se prioriza la identificación de patrones, recurrencias y relaciones entre las problemáticas detectadas. En este sentido, la validez del análisis se sustenta en la consistencia de las respuestas obtenidas, la convergencia de opiniones entre los entrevistados y la coherencia con el contexto técnico de los proyectos evaluados.

Para el análisis de datos por categorías se consideran tres fases interdependientes: reducción de datos, análisis descriptivo e interpretación, lo cual permite sintetizar la información obtenida y hacerla comprensible para su posterior análisis (Rueda Sánchez et al., 2023).

A continuación, se presentan las matrices de análisis donde se detallan las categorías obtenidas, debidamente codificadas, así como los fragmentos más relevantes de las respuestas de cada entrevistado, los cuales sustentan las clasificaciones e interpretaciones realizadas.

Tabla 19*Matriz de relaciones entre categorías de análisis y entrevistados*

Categoría	Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3
Experiencia en Núcleos Ejecutores (ENE)	1. Yo me gradué de arquitecto en el año 2000. 2. Yo desde el 2000 hasta hace cinco años he trabajado en este proceso, tanto en FONCODES como el Ministerio de Vivienda. 3. Entonces mi experiencia en núcleos ejecutores es bastante amplia, he ejecutado como residente de obra algo de 15 obras 4. Tengo 20 años específicamente en proyectos de FONCODES	1. Actualmente ejecuto estas obras por Núcleo Ejecutor tanto en FONCODES como también en el Ministerio de Vivienda. 2. Tengo experiencia en obras alrededor de 24 años, y específicamente en Núcleo Ejecutor tengo un promedio de 18 años.	1. Después de la colegiatura en arquitectura, me he dedicado a desarrollar proyectos de inversión social en sistemas de administración directa a través de estos convenios entre núcleos ejecutores, municipalidades y FONCODES. 2. En mi caso aproximadamente 30 años de colegiado y dentro de esos 30 años en gran parte he realizado en este sistema de FONCODES.
Errores técnicos y de diseño (ETD)	1. Para la primera compatibilidad te dan muy poco tiempo. Te suele dar entre 10 a 15 días. Y 15 días para evaluar un proyecto, aunque esté bien hecho o mal hecho, es muy poco tiempo. 2. En la valorización está como como un presupuesto que hay que ejecutarse, pero no se paga, entonces cómo la mano no es pagada, es bien difícil lograr ese aporte.	1. La topografía, el proyectista al parecer no ha hecho un levantamiento topográfico preciso	1. Marcada incompatibilidad entre los expedientes técnicos elaborados por los proyectistas y las condiciones reales del terreno. 2. Muchos expedientes no respetan las normas técnicas de

	3. Por más que el proyectista tenga evaluador y un proceso de supervisión de obra, se presentan fallas estructurales, arquitectónicas y mayormente fallas de presupuesto. En Foncodes es bastante difícil que te aprueben un aumento presupuestal. 4. Tienes que ver a través de gestiones de cómo saldas este hueco presupuestal, que es el desfase del presupuesto inicial con el ejecutado.		metrados, ni presentan el nivel de detalle necesario en planos o diagramas.
Incompatibilización de especialidades (IE)	1. Llegar al detalle técnico, detalle de estructuras y detalle arquitectónico es otra demora. 2. Estamos con el proyecto sin tener la convicción de que está perfectamente realizado y comienzan a surgir problemas, evidentemente en el proceso de ejecución.	1. Otro problema ha sido la compatibilización de las especialidades, siempre hay problemas entre los que es arquitectura, estructuras y básicamente las instalaciones sanitarias.	1. Dentro de los expedientes se presentan frecuentes incompatibilidades entre especialidades (arquitectura, estructuras e instalaciones), así como entre los planos, las especificaciones técnicas y las partidas presupuestales.
Accesibilidad y confiabilidad de la información técnica (ACF)	1. El proyecto llega bastante digerido, pero no llega a la perfección, siempre tiene problemas. 2. Como concepto es fácilmente subsanable porque si se le pide una consulta al proyectista, Foncodes le exige que se manifieste en 2 o 3 días.	1. El caso del pago a los trabajadores está fuera del alcance de los parámetros del régimen de construcción civil. Para su pago existe una ley especial donde solamente se les paga el jornal, pero todos los beneficios sociales no se les cancela.	1. Los expedientes no siempre son completamente confiables, por eso, como residente, siempre verifico que los metrados correspondan al proyecto. 2. La accesibilidad, la información técnica es directa

			para el residente, el supervisor y el equipo técnico, pero suele ser limitada para terceros, como la comunidad en los proyectos del Núcleo Ejecutor.
Desfase entre diseño y contexto real (DDCR)	1. El proceso tiene sus protocolos, en los asientos del cuaderno de obra se manifiesta. 2. Hay procedimientos, no son los óptimos, pero si es más rápido a comparación de otros procesos.	1. Siempre hay que tener en cuenta el entorno al momento de hacer el expediente, porque si no eso genera retrasos y se sabe que en FONCODES no hay ampliaciones presupuestales, lo que existen son las llamadas adendas a modificación.	1. Todo se maneja en formato físico o mediante comunicación informal. Este sistema depende del criterio del profesional responsable y no de un método automatizado, lo que genera dispersión de información, falta de trazabilidad y poca estandarización en la verificación. La ausencia de una plataforma digital impide validar los datos en tiempo real y reduce la confiabilidad del control técnico. 2. En ese tiempo la información ha sido en forma física, no teníamos acceso a información digital. 3. Un expediente físico es mucho más complicado de contrastar con la realidad.

Control técnico actual de componentes estructurales y materiales (CTC)	1. El control técnico se realiza de forma tradicional mediante supervisión directa del residente y del supervisor de obra. 2. Cada nuevo material requiere certificados, ensayos o fichas técnicas del proveedor (acero, concreto, pintura). 3. Se registran evidencias mediante fotografías y protocolos de control de calidad, pero todo se gestiona en físico o de manera informal. 4. No existe un método automatizado, lo que genera dispersión de información, poca trazabilidad y falta de estandarización.	1. El control y verificación técnica se limitan a inspecciones presenciales de supervisores o residentes. 2. FONCODES no cuenta con un sistema digital ni área de control de calidad que asegure trazabilidad o revisión secuencial. 3. Se evidencia brecha de capacitación técnica y deficiente comunicación entre actores. 4. Esto genera errores en la recolección y transmisión de datos, duplicidad de informes y pérdida de evidencias.	1. El control técnico se basa en el presupuesto aprobado y expedientes técnicos entregados. 2. Ante imprevistos o deficiencias, las correcciones se hacen en campo sin herramientas digitales de registro. 3. Esto ocasiona pérdida de control y dificulta la trazabilidad de decisiones. 4. Las verificaciones visuales y documentales son manuales.
Dificultades en el registro y seguimiento documental técnico (DRSD)	1. Falta de certificaciones verificables de algunos productos empleados en obra. 2. Los proveedores no siempre cuentan con fichas técnicas o sellos válidos en línea, dificultando comprobar la conformidad con el expediente técnico. 3. Se presentan inconsistencias en los documentos, como diferencias en el tipo de cemento o propiedades del material, lo que genera confusión y posibles riesgos estructurales. 4. La ausencia de una base de datos digital y la dependencia de documentos físicos	1. Las principales dificultades ocurren al detectar errores o interferencias durante la ejecución, especialmente en instalaciones sanitarias o desagües. 2. Estas deficiencias técnicas generan adendas y modificaciones después del inicio de obra, aumentando plazos y costos. 3. Los expedientes técnicos no se revisan exhaustivamente ni existen herramientas digitales para validar condiciones antes de ejecutar.	1. La documentación técnica se gestiona de manera física, lo que impide actualizar o seguir los cambios en tiempo real. 2. Las modificaciones en obra se registran manualmente, provocando duplicidad de datos y confusión entre versiones. 3. El proceso manual es lento, engorroso y compromete la integridad de la información. 4. La digitalización mediante plataformas BIM integradas

	retrasan la revisión y aprobación de modificaciones.	4. La incorporación de BIM permitiría detectar incompatibilidades antes de construir y mejorar la coordinación entre proyectistas, supervisores y residentes.	con blockchain permitiría registrar cada cambio con fecha, autor y motivo.
Mecanismos de trazabilidad y control de cambios (MTC)	1. No existen mecanismos formales de trazabilidad para los cambios realizados en el proyecto. 2. Las modificaciones se registran manualmente sin herramientas que identifiquen quien o cuándo se ejecutaron. 3. Esta falta de seguimiento genera desconfianza y dificulta la supervisión técnica. 4. Los controles son presenciales y dependen de la memoria o los informes de los profesionales. 5. La ausencia de un sistema digital limita la transparencia y la validación de los procesos.	1. Los mecanismos de control actuales son informales y se basan en conversaciones entre residentes, supervisores y proyectistas. 2. No existe una base de datos centralizada que registre los cambios ni garantice su autenticidad. 3. Se requiere implementar una plataforma digital en la nube que permita almacenar y auditar los registros de modificación. 4. Un entorno BIM, complementado con blockchain, generaría trazabilidad transparente e inmutable de cada acción. 5. Esto fortalecería la coordinación técnica y la responsabilidad de los actores del proyecto.	1. Durante la ejecución no existieron mecanismos de trazabilidad ni programa especializado. 2. Los cambios se documentaban manualmente en cuadernos o actas físicas, lo que impide identificar responsables o criterios de modificación. 3. Este método limita la confiabilidad de la información y la auditoría técnica. 4. La implementación de sistemas automatizados permitiría registrar cada evento con sello temporal y firma digital. 5. Esto fortalecería la trazabilidad, el control documental y la

			responsabilidad técnica de los profesionales involucrados.
Garantía de integridad y veracidad de la información técnica y administrativa (GIV)	1. Los sistemas actuales garantizan solo parcialmente la integridad de la información, pues dependen del control interno institucional. 2. Existen instancias de fiscalización como la Contraloría y los OCI, pero su supervisión no es continua ni digitalizada. 3. No hay una plataforma unificada que permita la verificación técnica transversal entre entidades. 4. La falta de interoperabilidad entre áreas ocasiona pérdida de información y observaciones reiteradas en los expedientes.	1. El sistema de información técnica manejado por FONCODES utiliza herramientas tradicionales (como Microsoft Project), insuficientes para garantizar veracidad de datos. 2. No existe conexión entre la planificación, ejecución y validación técnica. 3. Esto genera desfases entre reportes administrativos y condiciones reales de obra. 4. La integración de metodologías BIM con blockchain permitiría consolidar la información técnica en una base de datos unificada y verificable.	1. En el proyecto se usaron herramientas básicas sin metodologías digitales avanzadas. 2. La falta de sistemas integrados impidió asegurar la consistencia de la información técnica. 3. La aplicación de BIM permitiría una supervisión preventiva y coordinada en tiempo real. 4. Blockchain podría certificar la autenticidad y el origen de cada registro técnico o administrativo.
Aplicación de BIM y Blockchain para la transparencia y control en proyectos de Núcleo Ejecutor (BBC)	1. La aplicación de BIM y blockchain transformaría la gestión de los proyectos bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor. 2. Permitirían digitalizar expedientes técnicos y vincular información estructural con sus certificaciones. 3. Facilitarían la verificación en tiempo real de la calidad de materiales y procesos constructivos. 4. Al automatizar los procesos de revisión,	1. El uso de estas tecnologías significaría un avance sustancial en la gestión de proyectos estatales. 2. Su efectividad depende de la capacitación del personal técnico y de la estandarización de procesos. 3. BIM permitiría trabajar en un entorno digital colaborativo, con información actualizada en tiempo real.	1. La implementación de BIM y blockchain representa un paso clave hacia la modernización del sector construcción. 2. Estas tecnologías permitirían registrar automáticamente cada modificación, avance o validación del proyecto. 3. Reducirían errores humanos

reducirían retrasos y errores derivados del manejo físico de documentos.

5. Garantizarían que cada cambio quede registrado de forma inmutable, fortaleciendo la transparencia y confianza en la gestión pública.

4. Al integrarse con Blockchain, se aseguraría trazabilidad, verificación y protección de los datos técnicos.

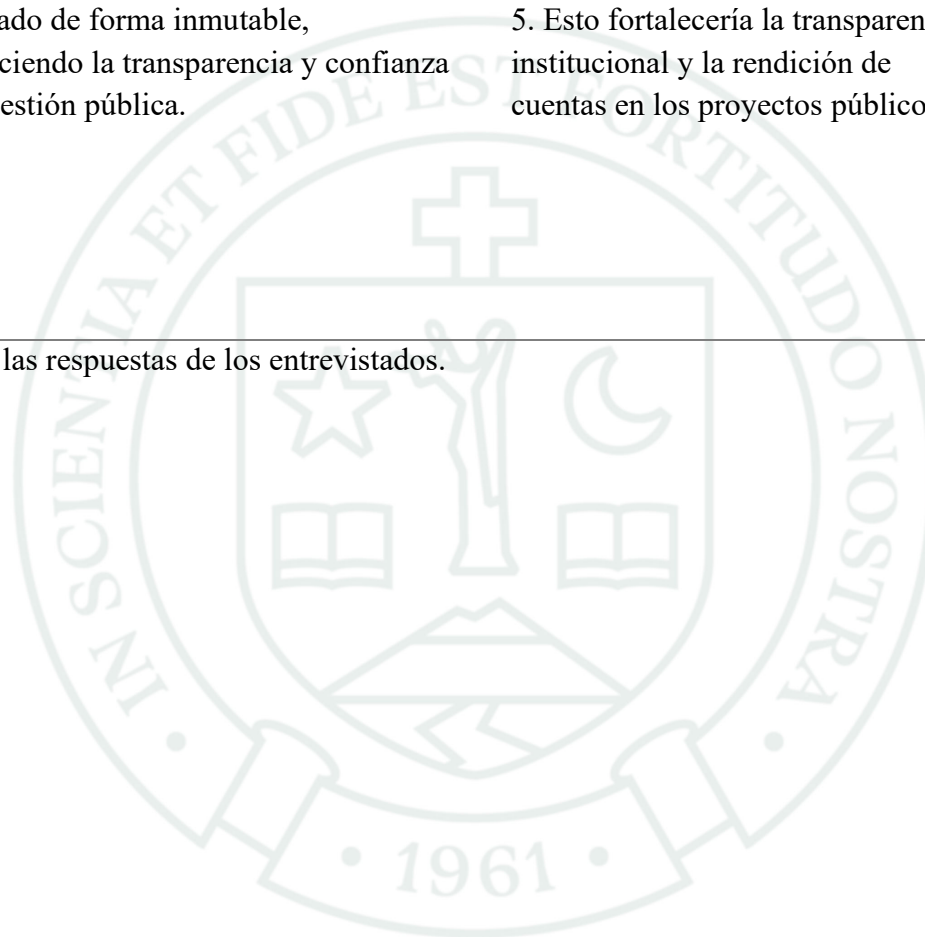
5. Esto fortalecería la transparencia institucional y la rendición de cuentas en los proyectos públicos.

y fomentarían un control técnico más preciso y auditable.

4. Con capacitación adecuada, el personal podría optimizar cronogramas y garantizar la integridad de los datos.

5. Su adopción generaría mayor eficiencia, calidad y confianza en los proyectos de Núcleo Ejecutor.

Nota: Creación de categorías según las respuestas de los entrevistados.



En la siguiente tabla se presentan las categorías obtenidas especificando el proceso de codificación, las preguntas de la entrevista en las cuáles se identificaron y finalmente la interpretación correspondiente de cada una.

Tabla 20

Sistema de categorización y codificación

Código	Categoría	Pregunta relacionada	Interpretación
ENE	Experiencia en Núcleos Ejecutores	1 y 2	Formación profesional, años de experiencia y familiaridad con el modelo.
ETD	Errores técnicos y de diseño	3	Identificación de deficiencias en expedientes técnicos, compatibilización y errores comunes.
IE	Incompatibilización de especialidades	3	Dificultades de coordinación entre arquitectura, estructuras e instalaciones, que generan errores y retrabajos durante la ejecución.
ACF	Accesibilidad y confiabilidad de la información técnica	4	Evaluación de la facilidad de acceso (disponibilidad de documentos, medios digitales o físicos) y la confiabilidad (exactitud y vigencia de los datos técnicos).
DDCR	Desfase entre diseño y contexto real	5	Diferencias entre lo proyectado y las condiciones reales del entorno

CTC	Control técnico actual de componentes estructurales y materiales	6	Análisis de los métodos tradicionales de verificación técnica y control de calidad, destacando la ausencia de trazabilidad y digitalización.
DRSD	Dificultades en el registro y seguimiento documental técnico	7	Identificación de problemas en la gestión de documentos, certificaciones y modificaciones, resaltando la necesidad de un sistema automatizado y trazable.
MTC	Mecanismos de trazabilidad y control de cambios	8 y 9	Evaluación de la existencia o ausencia de herramientas que registren, identifiquen y autenticquen las modificaciones realizadas durante el proyecto.
GIV	Garantía de integridad y veracidad de la información técnica y administrativa	9	Análisis de las limitaciones de los sistemas actuales para asegurar la autenticidad, consistencia e interoperabilidad de los datos técnicos.
BBC	Aplicación de BIM y blockchain para la transparencia y control en proyectos de Núcleo Ejecutor	10	Valoración del potencial de las tecnologías BIM y blockchain para mejorar la trazabilidad, transparencia y control técnico-administrativo en los proyectos públicos.

Nota: Codificación de categorías según las respuestas de los entrevistados.

El estudio de las entrevistas hechas a los residentes de obra permitió reconocer un conjunto de patrones compartidos que representan los problemas más relevantes en los proyectos llevados a cabo con la modalidad Núcleo Ejecutor. Estas categorías aparecen a partir de la codificación y el resumen de respuestas, lo que facilita definir una visión completa del entorno documental, técnico y operativo que distingue este sistema de gestión pública. Primero, la categoría "Experiencia en Núcleos Ejecutores (ENE)" muestra que los encuestados tienen una larga carrera profesional, tanto en el sector privado como dentro de entidades como FONCODES y el Ministerio de Vivienda. Este descubrimiento hace posible entender que las opiniones expresadas son de actores con un conocimiento empírico profundo del funcionamiento del modelo, lo cual valida el diagnóstico.

Con respecto a los "Errores técnicos y de diseño (ETD)" y la "Incompatibilidad de especialidades (IE)", se descubrió que las carpetas técnicas tienen fallas frecuentes en la compatibilidad de planos, la coherencia entre las especialidades de arquitectura, estructuras e instalaciones, así como en levantamientos topográficos. Estas deficiencias producen modificaciones durante la implementación, así como demoras y excesos de costos que no siempre son cubiertos por los presupuestos asignados. La ausencia de un proceso digital de revisión anticipada refuerza la necesidad de incorporar herramientas de modelado colaborativo que permitan validar las condiciones del proyecto antes de su ejecución.

En relación con la "Accesibilidad y confiabilidad de la información técnica (ACF)", los participantes en las entrevistas indicaron que se maneja principalmente la documentación en formato físico, lo que obstaculiza su actualización, consulta y control. A pesar de que los residentes tienen acceso directo a la información técnica, esta no es sencilla de verificar ni de acceder para personas ajenas, lo que perjudica la transparencia del proceso.

La categoría "Desfase entre diseño y contexto real (DDCR)" enfatiza lo mencionado previamente, mostrando que existen discrepancias significativas entre lo planeado y las condiciones efectivas del terreno. Las alteraciones que resultan de estas discrepancias se manejan manualmente y están sujetas a la opinión de los profesionales, sin rastreo formal, lo cual restringe la fiabilidad técnica y administrativa del proceso.

En el ámbito del control y seguimiento, los resultados de "Control técnico actual de componentes estructurales y materiales (CTC)" y "Dificultades en el registro y seguimiento documental técnico (DRSD)" indican que la verificación de materiales y ensayos se lleva a cabo de manera tradicional, utilizando registros hechos a mano, protocolos impresos y comunicación

informal. La ausencia de digitalización genera dispersión de información, duplicidad de documentos y pérdida de evidencia técnica. Estas limitaciones impiden establecer un flujo continuo de control de calidad y reducen la trazabilidad de los procesos constructivos.

Asimismo, la categoría “Mecanismos de trazabilidad y control de cambios (MTC)” Muestra que hoy en día no hay herramientas digitales que registren de manera exacta quien las lleva a cabo, cuándo y cómo se realizan los cambios en los proyectos. Los cambios se registran en actas físicas o cuadernos de obra, lo que dificulta la auditoría de la responsabilidad técnica de cada acción. Este descubrimiento es fundamental porque pone de manifiesto la ausencia de transparencia y control automatizado de documentos en los proyectos estatales.

Por otra parte, la "Garantía de veracidad e integridad de la información administrativa y técnica (GIV)" muestra que los sistemas actuales de gestión, fundamentados en programa tradicional o en documentos físicos, no aseguran totalmente la autenticidad ni la coherencia de los datos. La falta de una plataforma que permita la interoperabilidad entre planificación, ejecución y validación técnica genera discrepancias entre los datos administrativos y las condiciones reales.

Por último, los tres entrevistados estuvieron de acuerdo en que la "Aplicación de BIM y blockchain (BBC)" podría ser una solución revolucionaria. Estas tecnologías facilitarían la digitalización y conexión de toda la información técnica y documental del proyecto, lo que a su vez generaría transparencia, trazabilidad y verificación en tiempo real. BIM permitiría un ambiente de colaboración, en tanto que blockchain garantizaría la autenticidad e inmutabilidad de cada registro administrativo o técnico. La conjunción de ambos sistemas haría factible la sugerencia de un modelo automatizado para validar constructivamente, el cual mejoraría la administración y el control en los proyectos del Núcleo Ejecutor.

En general, los resultados encontrados posibilitan ubicar la propuesta presentada en esta investigación dentro de su contexto, que tiene como objetivo ir más allá de las restricciones detectadas a través de la incorporación de tecnologías digitales avanzadas que garanticen la transparencia, trazabilidad e interoperabilidad de los procedimientos constructivos. Por lo tanto, el estudio cualitativo apoya la puesta en marcha de un sistema automático de validación constructiva que se basa en blockchain y Semantic BIM, el cual está en línea con las exigencias contemporáneas de control y eficiencia en la administración pública de infraestructura.

4.7.4. Análisis comparativo

- **Tabla comparativa: soluciones internacionales vs. problemática local.**

A continuación, en la siguiente tabla se identificó los principales problemas que se presentan en los procesos constructivos en relación con el tema de investigación, y se comparan con las soluciones que fueron propuestas y efectivas en otras partes fuera del país. Con la intención de conocer las soluciones y adaptarlas a nuestro entorno con el fin de disminuir o mitigar estos problemas.

Tabla 21

Análisis comparativo entre problemáticas locales vs soluciones internacionales

Problemática local	Solución internacional
Falta de compatibilización entre disciplinas: no hay un intercambio de datos claros entre las ramas de arquitectura, estructuras e instalaciones por ausencia de un entorno común de datos.	Adopción de Semantic BIM mediante ontologías (OWL, IFC, RDF) que permiten la transferencia de datos entre plataformas y disciplinas.
Inconsistencia de datos y pérdida de la trazabilidad: inexactitud de detalles en la información entre expediente técnico, obra y supervisión.	Utilización de blockchain como repositorio permanente para documentar las distintas versiones del modelo BIM y trazabilidad de las modificaciones.
Fallas y exclusiones de los detalles importantes en los expedientes técnicos: debido a la falta de coordinación y la automatización de las revisiones.	Mediante la aplicación de ontologías semánticas se logra validaciones automáticas de los cumplimientos de las normativas técnicas y requerimientos constructivos de los modelos BIM.
Complicaciones en las validaciones técnicas y documentales de los proyectos: por parte de residentes, supervisores o entidades públicas.	Creación de sistemas “Fuente única de verdad” (Single Source of Truth) que concentran y verifican la información BIM mediante blockchain.
Dependencia de los procesos manuales: para revisión de metrados y controles de calidad.	Inserción de modelos semánticos que dan la facilidad de automatizar los procesos de control de calidad, validación de cantidades y la detección de alguna interferencia.

Limitación en el conocimiento tecnológico: falta de capacitación en herramientas digitales avanzadas (BIM, ontologías, blockchain)

Adopción de marcos internacionales estandarizados como ISO 19650 y buildingSMART para gestión digital colaborativa y programas de formación para los profesionales o involucrados.

Nota: Soluciones internacionales que pueden resolver problemáticas constructivas presentadas en el sistema Núcleo Ejecutor en el Perú.

- **Oportunidades de aplicación de BIM semántico y blockchain.**

La integración entre Semánticas BIM y blockchain permite un sistema innovador más prometedor para la revolución digital en el sector de la construcción.

Los autores Kong et al. (2025), menciona que BIM es el modelado de la información de la construcción y se ha vuelto un hito y cada vez más se utiliza en la conceptualización, comunicación, generación y almacenamiento de la información en la gestión de la construcción, sin embargo, el sistema de colaboración BIM se ha vuelto limitado por deficiente interoperabilidad BIM, lo que da como resultado un intercambio ineficiente de los datos. Por ejemplo, Sacks et al. (2022) propuso una idea sobre “BIM en la nube” para el modelamiento de edificios entre los modelos constituidos de cada disciplina, no obstante, los problemas en la seguridad de la información siguen presentando desafíos para la integración de BIM en la nube.

Con el desarrollo de la tecnología de blockchain se abre una nueva forma de lograr un intercambio seguro, descentralizado y eficaz de datos en el sector de la construcción. (Hijazi et al., 2021)

Según Celik et al. (2023), al combinar estas dos tecnologías se obtiene una “*single source of truth*” o traducida al español como fuente única de verdad para la gestión integral del ciclo de vida de los proyectos, permitiendo que todos los involucrados en la construcción (diseñadores, contratistas, supervisores y entidades públicas) puedan acceder a información sincronizada y verificable. Esto permite la disminución de errores, retrasos y fraudes, además de mejorar la cooperación y distribución entre todo lo involucrado en la cadena de suministro de la construcción.

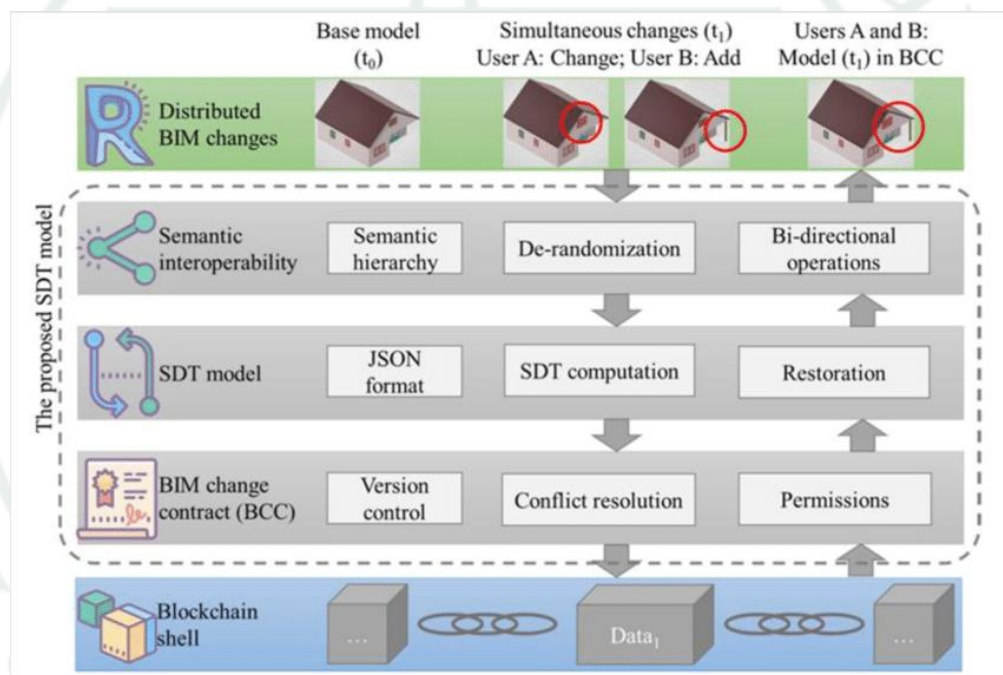
Por otro lado, Yoon et al. (2022) destacan que el uso de blockchain junto con plataformas BIM 5D posibilita la automatización de pagos mediante *smart*

contracts, los cuales liberan fondos cuando se valida automáticamente el avance de obra en el modelo BIM. Esta sinergia agiliza los flujos de caja, reduce disputas contractuales y fortalece la transparencia en la ejecución de proyectos.

En conjunto, estas investigaciones evidencian que la aplicación de Semantic BIM y blockchain ofrece amplias oportunidades para el control técnico, financiero y documental en proyectos de construcción. Su implementación puede fortalecer la transparencia institucional, optimizar la coordinación interdisciplinaria y facilitar la verificación automatizada de la información en entornos colaborativos, abriendo el camino hacia una gestión constructiva más inteligente y confiable.

Figura 11

Proceso de integración Semantic BIM con blockchain



Nota. Adaptado de (Xue & Lu, 2020)

- **Requerimientos tecnológicos identificados.**

Para la implementación del sistema de validación constructiva automatizada basado en Semantic BIM y tecnología blockchain, se identifican una serie de componentes tecnológicos que, de manera integrada, permiten garantizar la trazabilidad, integridad e interoperabilidad de la información procesada a lo largo del proyecto.

En primer lugar, se requiere un entorno de modelado BIM, en el cual los elementos constructivos sean definidos y parametrizados conforme a atributos técnicos, normativos y funcionales. Este modelado se desarrolla en una plataforma BIM que permita la asignación de parámetros compartidos y la extracción automatizada de información. Adicionalmente, el uso de estándares abiertos como IFC (Industry Foundation Classes) facilita la interoperabilidad del modelo entre diferentes herramientas, aunque su implementación no resulta obligatoria para el desarrollo experimental del sistema propuesto.

Para el enriquecimiento semántico de la información, se requiere el uso de tecnologías basadas en OWL (Web Ontology Language) o RDF (Resource Description Framework), las cuales permiten estructurar ontologías que representen conceptos, propiedades y relaciones entre los elementos constructivos. Estas estructuras semánticas posibilitan el razonamiento automático y la vinculación de los elementos BIM con criterios normativos. En este proceso, la herramienta Protégé es utilizada para la creación, gestión y validación del esquema ontológico.

En la capa de validación automatizada, se requiere el uso de scripts de automatización, desarrollados mediante PyRevit, que permiten la lectura de parámetros compartidos desde el modelo BIM, la evaluación de dichos parámetros frente a reglas normativas predefinidas y la generación de resultados de validación estructurados. Los resultados obtenidos son exportados en formatos interoperables como CSV, Excel o JSON, los cuales facilitan su posterior procesamiento y reutilización.

Respecto a la integración con tecnología blockchain, el sistema propuesto requiere un mecanismo de registro inmutable orientado al almacenamiento de los resultados de la validación semántica. Esta integración se realiza a nivel lógico y funcional, mediante el uso de funciones hash y estructuras de bloques encadenados, sin necesidad de desplegar una red blockchain pública ni utilizar contratos inteligentes. No obstante, en escenarios futuros de implementación a mayor escala, podrían emplearse entornos de prueba como Ganache o plataformas blockchain públicas como Ethereum para ampliar el alcance del sistema.

Finalmente, para una implementación real del sistema, se identifican como requerimientos complementarios la disponibilidad de infraestructura de almacenamiento, ya sea local o en la nube, así como la capacitación técnica del personal encargado del modelado, la validación y la gestión de la información, garantizando la correcta operación y sostenibilidad del sistema propuesto.



CAPÍTULO V

5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SEMÁNTICA BIM

5.1. Definición de los elementos semánticos del modelo

En esta etapa se identifican los elementos del modelo BIM que se van a analizar, se hace un diseño conceptual y semántico del sistema propuesto, así como los atributos técnicos, normativos y funcionales asociados. Además, se construye el diseño de la ontología y reglas de validación que permiten verificar los cumplimientos normativos.

La definición de estos elementos constituye la base conceptual para el desarrollo de la estructura semántica y la posterior validación normativa automatizada del modelo BIM.

5.2. Alcance del análisis semántico del proyecto

El análisis semántico del proyecto se limita a los elementos estructurales principales del sistema de albañilería confinada, específicamente cimientos corridos, columnas y muros portantes, considerando una edificación de un solo nivel. No se contempla el modelado ni la validación del acero de refuerzo, debido al alcance metodológico definido por la presente investigación, el cual prioriza la validación semántica de los elementos estructurales primarios y su correcta relación funcional dentro del sistema constructivo.

La delimitación de este alcance se sustenta en los resultados obtenidos del análisis cualitativo de las entrevistas realizadas a los residentes de obra, los cuales detectaron las dificultades asociadas a los errores técnicos y de diseño (ETD), Incompatibilización de especialidades (IE), control técnico actual (CTC), desfase entre diseño y contexto real (DDCR) y accesibilidad y confiabilidad de la información técnica (ACF). Dichas problemáticas impactan directamente en elementos estructurales críticos, los cuales concentran la mayor cantidad de decisiones constructivas y riesgos de error en edificaciones de albañilería confinada.

A partir de estas categorías identificadas se definieron los elementos, atributos y relaciones semánticas que conforman la estructura del modelo BIM, los cuales se presentan y desarrollan en las siguientes tablas.

5.3. Identificación de componentes constructivos críticos.

Se identificaron los componentes constructivos críticos del modelo BIM, considerando su influencia estructural, funcional y normativa dentro del sistema edificatorio. Estos componentes constituyen la base para la aplicación de la semántica BIM.

Tabla 22

Identificación de componentes constructivos

Categoría BIM	Componente constructivo	Criterio de criticidad	Justificación técnica
Estructural	Cimiento corrido	Alta influencia estructural y peso normativo.	El cimiento corrido constituye un elemento fundamental para conservar la estabilidad del sistema estructural debido a que, transmite las cargas de la edificación hacia el suelo. La normativa E.060 señala el diseño y dimensiones que estrictamente deben cumplir, por lo que resulta crítico para la validación automatizada.
Estructural	Columnas de concreto armado	Alta influencia estructural e importancia en el ámbito de la seguridad.	Las columnas resisten cargas verticales y aportan estabilidad global a la edificación. Cometer errores en sus dimensiones, resistencia o procedimiento constructivo puede comprometer a la seguridad estructural, lo que explica su participación como componente crítico dentro de un modelo semántico.
Arquitectura / Estructuras	Muros portantes	Elemento constructivo vertical que cumple función estructural y arquitectónica, transmitiendo cargas hacia el cimiento corrido.	El muro portante cumple una función estructural fundamental al transmitir cargas verticales y horizontales hacia la cimentación y aportar estabilidad al sistema constructivo. En el entorno BIM, una definición inadecuada del muro portante genera

			incompatibilidades frecuentes entre arquitectura y estructuras, por lo que se considera un elemento constructivo crítico para la validación.
Estructural	Sistema de cimentación	Alta influencia estructural y rol integrador	El sistema de cimentación integra los elementos de cimentación superficial, permitiendo la correcta transmisión de cargas de los elementos verticales portantes hacia el suelo. Su adecuada definición es clave para representar correctamente las relaciones estructurales dentro del modelo BIM.

Nota: Elección de componentes constructivos a analizar.

La elección de los componentes constructivos críticos se realizó tomando en cuenta aquellos elementos los cuales una incorrecta definición de sus características podría generar incumplimientos normativos o grandes riesgos estructurales, limitando el alcance a fin de garantizar un estudio viable y profundo.

5.4. Atributos técnicos

Los atributos técnicos permiten describir las propiedades físicas y constructivas de los componentes identificados. Estos atributos son definidos como parámetros verificables dentro del entorno BIM.

Tabla 23*Identificación de atributos técnicos*

Componente	Atributo técnico	Descripción	Tipo de dato	Unidad
Cimiento corrido	Identificador del elemento	Código único asignado al cimiento corrido dentro del modelo	Texto	-
Cimiento corrido	Ancho del cimiento	Dimensión horizontal del cimiento corrido modelado en Revit.	Numérico	m
Cimiento corrido	Profundidad de desplante	Distancia vertical desde el nivel del terreno hasta la base del cimiento	Numérico	m
Cimiento corrido	Resistencia del concreto ($f'c$)	Resistencia característica del concreto asignada al cimiento corrido.	Numérico	MPa
Cimiento corrido	Material	Tipo de material estructural que compone el elemento (concreto ciclópeo)	Texto	-
Columna	Identificador del elemento	Código único asignado a la columna dentro del modelo.	Texto	-
Columna	Dimensiones de la sección transversal	Ancho y peralte de la sección transversal de la columna definidos en el modelado BIM.	Numérico	m
Columna	Resistencia del concreto ($f'c$)	Resistencia característica del concreto asignada a la columna.	Texto	m
Columna	Altura de la columna	Distancia vertical entre el nivel base y el nivel superior de la columna	Numérico	m
Columna	Nivel base	Nivel inferior al que se encuentra asociada la columna	Texto	-
Columna	Nivel Superior	Nivel superior al que se encuentra asociada la columna	Texto	-
Columnas	Tipo de sección	Forma geométrica de la sección transversal	Texto	-

		(rectangular, cuadrada o L)		
Columna	Material	Tipo de material estructural que compone el elemento (concreto armado)	Texto	-
Muro portante	Identificador del muro	Código único asignado al muro portante dentro del modelo	Texto	-
Muro portante	Longitud del muro	Longitud total del muro portante en planta	Numérico	m
Muro portante	Altura del muro	Altura total del muro portante entre niveles	Numérico	m
Muro portante	Material del muro	Material asignado al muro portante en el modelo	Texto	-
Muro portante	Nivel base del muro	Nivel inferior al que se encuentra asociado el muro portante	Texto	-
Muro portante	Nivel superior del muro	Nivel superior al que se encuentra asociado el muro portante	Texto	-

Nota: Atributos técnicos de los elementos estructurales a analizar.

Los atributos técnicos representan las propiedades técnicas mínimas necesarias para verificar el cumplimiento normativo y constructivo del componente estructural seleccionado, la validación dimensional de los cimientos corridos se limita a parámetros representativos y verificables normativamente, tales como el ancho del cimiento y la profundidad de desplante. El peralte del cimiento no es considerado como parámetro de validación debido a que su valor responde a criterios específicos de diseño estructural, los cuales se encuentran fuera del alcance del estudio.

5.5. Atributos normativos: cumplimiento de normativas constructivas

Los atributos normativos representan el cumplimiento de las normas técnicas aplicables. Estos atributos se estructuran como parámetros que permiten asociar cada componente con los criterios normativos correspondientes.

Tabla 24*Identificación de atributos normativos*

Norma	Artículo/Título	Componente BIM	Parámetro normativo	Tipo de verificación
RNE E.050-Suelos y cimentaciones	Disposiciones generales sobre el uso del concreto ciclópeo en cimentaciones superficiales.	Cimiento corrido (cimiento ciclópeo)	Resistencia característica del concreto (valor referencial).	Verificación semántica mediante el criterio técnico de referencia.
RNE E.060-Concreto armado	Resistencia mínima del concreto (según norma vigente 5.1.1)	Columna	Resistencia característica del concreto ($f'c$)	Comparación y validación automática del valor modelado con el valor mínimo normativo.
RNE E.060-Concreto armado	-Recubrimiento mínimo (7.7.2) - Límites de refuerzo de elementos a compresión (10.9) -Límites de espaciamiento del refuerzo (7.6.3) -Estribos (7.10.5.1)	Columna	Ancho y peralte mínimo de la sección adoptado	Verificación automática de las dimensiones geométricas modeladas respecto a los valores normados.
RNE E.050-Suelos y cimentaciones	Profundidad de cimentación (26.2)	Cimiento corrido	Profundidad de desplante del cimiento	Verificación automática del valor modelado respecto al mínimo normado.
RNE E.050-Suelos y cimentaciones	Disposiciones generales sobre cimentaciones superficiales	Cimiento corrido	Ancho del cimiento corrido	Verificación de coherencia dimensional del valor modelado respecto a un

				criterio técnico de referencia comúnmente empleado en edificaciones de baja altura.
RNE E0.70- Albañilería	Muros portantes (artículo 17)	Muro portante	Longitud mínima del muro portante.	Comparación numérica
RNE E.050- Suelos y cimentaciones	Definición y función de cimentaciones superficiales continuas	Cimiento corrido	Continuidad del cimiento corrido bajo muros portantes.	Verificación semántica de la existencia y continuidad del cimiento corrido a lo largo del muro, incluyendo zonas con vanos de puertas.
RNE E.060 – Concreto armado	Principios generales del sistema estructural y transmisión de cargas.	Columna	Asociación de columna a un sistema de cimentación.	Verificación semántica de coherencias estructural validadas cuando la columna forma parte de un sistema de cimentación que permita la transmisión de cargas al terreno.

Nota: Atributos normativos de los elementos estructurales a analizar.

La tabla de atributos normativos sintetiza la relación entre los componentes estructurales modelados y escogidos en el entorno BIM con los parámetros normativos establecidos en la RNE E.050 – *Suelos y Cimentaciones*, la RNE E.060 – *Concreto Armado* y la RNE E0.70- *Albañilería*. Estos parámetros son la base para definir las reglas de validación automatizada, orientadas a la verificación del cumplimiento de los

requisitos mínimos de resistencia, dimensiones y condiciones constructivas de los elementos estructurales analizados.

5.6. Atributos funcionales

Los atributos funcionales permiten describir las relaciones, interacciones y condiciones de compatibilidad entre los componentes estructurales y arquitectónicos dentro del modelo BIM. Estos atributos no representan propiedades físicas ni valores normativos, sino que permiten evaluar la coherencia funcional del modelo, identificando incompatibilidades geométricas y constructivas que pueden generar conflictos durante la ejecución de la obra.

Tabla 25

Identificación de atributos funcionales

Componente	Atributo funcional	Descripción	Indicador asociado
Cimiento corrido	Relación con muro portante	Indica si el cimiento corrido presenta al menos un muro portante apoyado sobre el sistema de cimentación.	Cumple / No cumple
Cimiento corrido	Continuidad del cimiento bajo muros portantes.	Indica si el cimiento corrido se extiende de forma continua bajo el muro portante asociado.	Cumple / No cumple
Columna	Apoyo sobre el sistema de cimentación	Indica si la columna se encuentra sobre el sistema de cimentación de manera continua.	Cumple / No cumple
Muro portante	Interferencias con columnas	Indica la existencia de interferencias geométricas entre el muro portante y las columnas.	Cumple / No cumple

Nota: Atributos funcionales de los elementos estructurales a analizar.

Los atributos funcionales definidos permiten evaluar las relaciones, compatibilidades e interferencias entre los componentes BIM analizados, constituyendo un insumo fundamental para la detección de incompatibilidades entre disciplinas.

Teniendo conocimiento de los atributos funcionales se puede evaluar el comportamiento operativo de los componentes estructurales dentro del modelo BIM.

Estos atributos no responden a un análisis estructural detallado, sino a indicadores funcionales que simplifican la verificación y gestión del modelo semántico.

5.7. Relación entre categorías de análisis y atributos del modelo BIM

La siguiente tabla presenta la operacionalización de las categorías obtenidas en la fase de análisis cualitativo, estableciendo su correspondencia con los atributos técnicos, normativos y funcionales definidos en el entorno BIM. Esta vinculación permite transformar las problemáticas identificadas en variables medibles y verificables, que posteriormente son implementadas como reglas de validación automatizada.

En este sentido, se asegura la coherencia metodológica y la trazabilidad entre el diagnóstico cualitativo y la propuesta tecnológica, garantizando que el sistema desarrollado responda de manera directa a las condiciones y necesidades del contexto de estudio.

Tabla 26
Operacionalización de categorías en atributos de validación BIM

Categoría	Código	Atributos asociados	Componente	Tipo de atributo
Experiencia en Núcleos Ejecutores	ENE	• Identificador del elemento • Material	Cimiento corrido / Columna / Muro portante	Técnico
Errores técnicos y de diseño	ETD	• Resistencia del concreto ($f'c$) • Dimensiones de sección transversal • Ancho de la columna	Cimiento corrido / Columna	Normativo
Incompatibilización de especialidades	IE	• Interferencias con columnas • Relación con muro portante	Muro portante / Cimiento corrido	Funcional
Accesibilidad y confiabilidad de la información técnica	ACF	• Identificador del elemento • Nivel base • Nivel superior	Columna / Muro portante	Técnico
Desfase entre diseño y contexto real	DDCR	• Longitud del muro	Muro portante / Columna	Técnico / Normativo

		• Altura de la columna		
Control técnico actual de componentes estructurales y materiales	CTC	• Resistencia del concreto ($f'c$) • Dimensiones de sección transversal	Cimiento corrido / Columna	Normativo
Dificultades en el registro y seguimiento documental técnico	DRSD	• Identificador del elemento • Material	Todos los componentes	Técnico
Mecanismos de trazabilidad y control de cambios	MTC	• Nivel base • Nivel superior	Columna / Muro portante	Técnico
Garantía de integridad y veracidad de la información	GIV	• Coherencia entre atributos	Todos los componentes	Funcional
Aplicación de BIM y blockchain	BBC	• Continuidad del cimiento bajo muros portantes • Relación con muro portante	Cimiento corrido	Funcional

Nota: La tabla presenta la relación entre las categorías obtenidas en la fase de análisis cualitativo y los atributos técnicos, normativos y funcionales definidos en el modelo BIM, los cuales son utilizados como base para la implementación de reglas de validación automatizada.

5.8. Desarrollo de la estructura semántica

Esta etapa corresponde a la organización lógica de los elementos y atributos definidos, estableciendo relaciones, jerarquías y reglas básicas de validación semántica dentro del modelo BIM.

5.8.1. Creación del esquema ontológico

Tabla 27

Organización lógica del esquema ontológico

Clase de elemento	Atributos asociados	Relación principal	Elemento relacionado
Cimiento Corrido		formaParteDe	SistemaDeCimentación
CimientoCorrido		estaReguladoPor	NormaRNE_E050
Columna	- Identificador del elemento - Resistencia del concreto (f'c) - Dimensiones de sección transversal - Altura de la columna - Ancho de la columna - Material - Nivel base - Nivel Superior	seApoyaEn interfiereCon	SistemaDeCimentación MuroPortante
Columna		estaReguladoPor	NormaRNE_E060
MuroPortante	- Identificador del elemento - Longitud del muro - Material - Nivel base del muro - Nivel superior del muro	seApoyaEn interfiereCon	SistemaDeCimentación Columna
MuroPortante		estaReguladoPor	NormaRNE_E070
SistemaDeCimentacion	-Identificador	SeApoyaEn (recibe)	Columna

Nota: Clasificación de esquema ontológico.

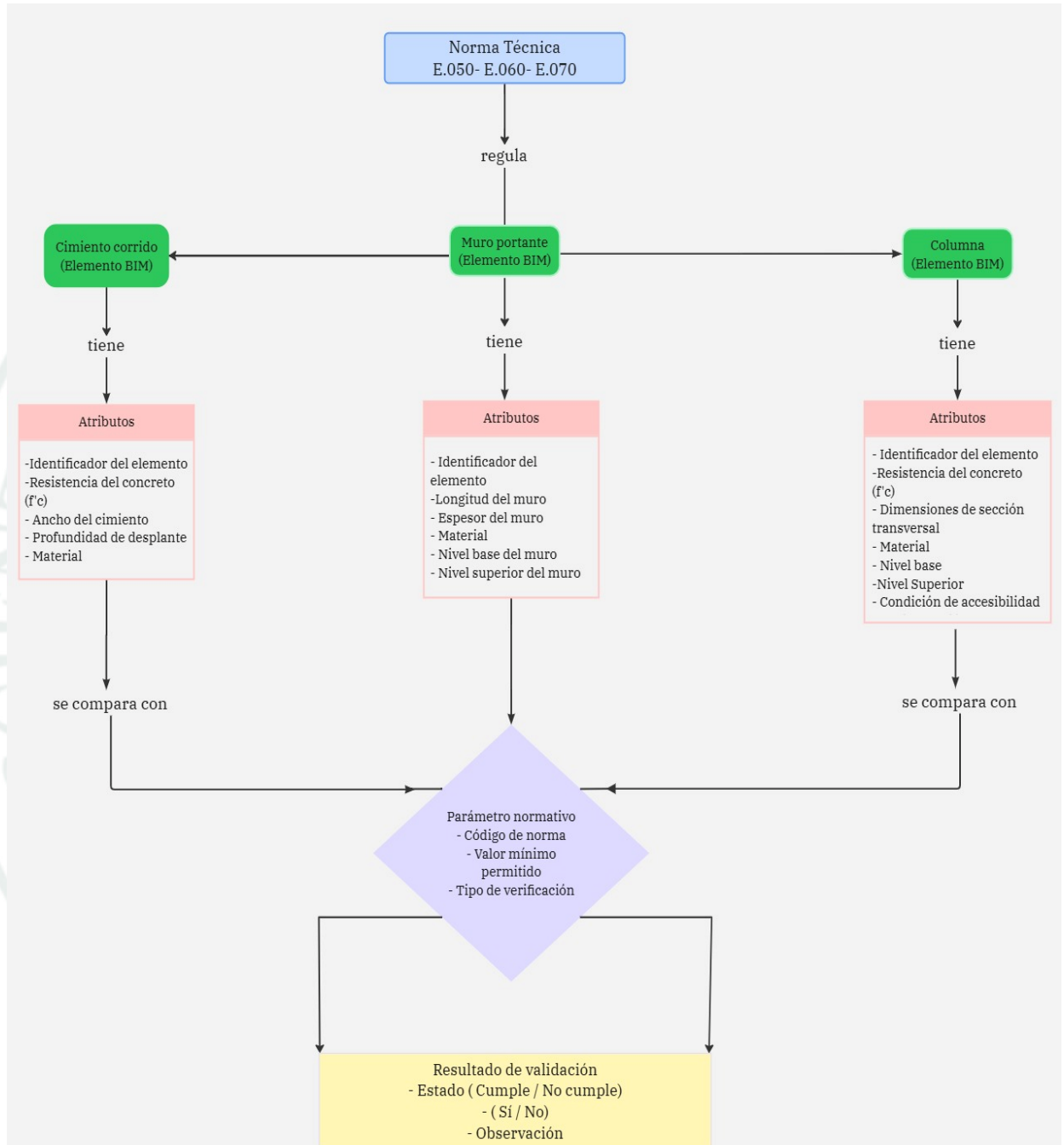
Mediante el esquema ontológico se puede estructurar de forma coherente y lógica los elementos del modelo BIM, por medio de la definición de las clases de elementos principales, sus atributos y las relaciones que existen entre ellos. En este esquema, los elementos estructurales como el cimiento corrido, columnas y muros portantes se

representan como clases ontológicas incorporando atributos técnicos, normativos y funcionales. Estos atributos se vinculan con las Normas Técnicas Peruanas correspondientes posibilitando la formulación de reglas de validación semántica orientadas a la verificación automática del cumplimiento normativo dentro del entorno BIM.



Figura 12

Diagrama de flujo ontológico del modelo BIM (Clases de elementos - atributos - relaciones)



Nota. Relación entre elementos BIM, atributos técnicos y parámetros normativos.

Mediante este diagrama de flujo ontológico se muestra la distribución ontológica definiendo clases, atributos y relaciones necesarias para la asignación semántica y validación normativa automatizada de los elementos estructurales dentro del modelo BIM.

5.8.2. Relaciones entre elementos y metadatos.

Se definieron las relaciones semánticas entre los elementos del modelo BIM, permitiendo asociar metadatos técnicos, normativos y funcionales de forma coherente.

Tabla 28

Relaciones semánticas entre elementos BIM y metadatos técnicos, normativos y de validación

Elemento origen	Tipo de relación	Elemento destino	Metadato asociado
Cimiento corrido	estaReguladoPor	Norma RNE E.050	Profundidad mínima de desplante
Cimiento corrido	estaReguladoPor	Norma RNE E.050	Condiciones técnicas de cimentación superficial
Cimiento corrido	formaParteDe	SistemaDeCimentacion	Integración al sistema de cimentación (Cumple /No Cumple)
Columna	seApoyaEn	SistemaDeCimentacion	Relación de apoyo estructural (Cumple /No Cumple)
Columna	estaReguladoPor	Norma RNE E.060	Resistencia mínima del concreto ($f'c$)
Columna	estaReguladoPor	Norma RNE E.060	Ancho mínimo de la sección transversal adoptado para columna
Columna	estaReguladoPor	Norma RNE E.060	Profundidad mínima de la sección transversal adoptado para columna
Muro portante	SeApoyaEn	SistemaDeCimentacion	Relación funcional con cimiento corrido a través del sobrecimiento (Sí /No)
Muro portante	estaReguladoPor	Norma RNE E.070	Longitud mínima del muro portante
Muro portante	interfiereCon	Columna	Interferencias con columnas (Cumple /No Cumple)

Nota: Los metadatos describen los valores técnicos y normativos de los elementos BIM para la evaluación automática del cumplimiento de la norma.

Las relaciones establecidas permiten relacionar los elementos estructurales del modelo BIM con los parámetros técnicos, normativos y funcionales que se especificaron,

facilitando la validación semántica automatizada del cumplimiento de la normativa peruana vigente, y sirviendo como información complementaria, la organización de información funcional orientada al desempeño, eficiencia y mantenimiento del sistema.

5.8.3. Definición de reglas lógicas para validación.

Se establecieron reglas lógicas básicas que permiten verificar la coherencia de los atributos semánticos asignados, sin realizar aún procesos de análisis o simulación.

Tabla 29

Reglas lógicas para la validación semántica de elementos estructurales en el modelo BIM

Regla	Condición	Elemento evaluado	Criterio de cumplimiento
RL-01	f'_c modelado $\geq$ valor de f'_c técnico de referencia	Cimiento corrido	Cumple si la resistencia característica del concreto modelada es igual o mayor al valor técnico de referencia adoptado para cimentaciones superficiales.
RL-02	Profundidad de desplante modelada $\geq$ profundidad mínima normativa	Cimiento corrido	Cumple si la profundidad de cimentación cumple con el mínimo establecido por la RNE E0.50.
RL-03	Ancho del cimiento modelado $\geq$ ancho mínimo de referencia	Cimiento corrido	Cumple si el ancho del cimiento corrido cumple con el criterio técnico definido.
RL-04	Soporte continuo bajo muros portantes	Cimiento Corrido	Cumple si existe continuidad del sistema de cimentación bajo los muros portantes.
RL-05	f'_c modelado $\geq$ f'_c mínimo normativo	Columna	Cumple si la resistencia característica del concreto cumple con lo establecido por la RNE E0.60.
RL-06	Ancho de sección transversal $\geq$ ancho mínimo adoptado para columnas	Columna	Cumple si el ancho de la sección transversal de la columna es igual o mayor al mínimo establecido en la NTE E0.60.

RL-07	Peralte de sección transversal $\geq$ peralte mínimo adoptado para columnas	Columna	Cumple si el peralte de la sección transversal de la columna es igual o mayor al mínimo establecido en la NTE E0.60.
RL-08	Existe relación semántica con sistema de cimentación	Columna	Cumple si la columna se apoya en un sistema de cimentación.
RL-9	Longitud muro portante $\geq$ Longitud mínima de muro portante establecido por el RNE E0.70.	Muro portante	Cumple si la longitud del muro portante no es menor al mínimo establecido en la RNE E0.70
RL-10	InterfiereCon alguna Columna	Muro portante	No cumple

Nota: Mediante las reglas lógicas se verifica el cumplimiento de los criterios técnicos y normativos al comparar los criterios semánticos del modelo BIM, estas reglas pueden elaborarse sin análisis estructural ni simulaciones.

Las reglas lógicas de validación permiten verificar de forma automatizada el cumplimiento de los requisitos mínimos normativos y funcionales de los componentes constructivos críticos dentro del modelo BIM. Estas reglas se basan en la comparación de los atributos técnicos modelados con los valores mínimos establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones, así como en la verificación de relaciones funcionales esenciales entre los elementos.

Como resultado de su aplicación, cada elemento BIM evaluado es clasificado en un estado de cumplimiento (Cumple / No cumple), facilitando la identificación temprana de incompatibilidades constructivas y apoyando la toma de decisiones durante las etapas iniciales del proyecto

5.9. Parámetros definidos para la validación

En la siguiente tabla se presenta los parámetros que serán considerados para la validación de los elementos estructurales analizados del modelo BIM. Estos parámetros conforman la base para la definición de las reglas de validación semántica, permitiendo que se evalúe el cumplimiento de los requisitos establecidos por la RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones) y criterios técnicos asociados a dicho reglamento.

Tabla 30

Atributos técnicos y funcionales utilizados para la validación semántica de elementos estructurales conforme al RNE

Tipo de parámetro	Norma	Elemento	Parámetro	Valor de referencia	Observación
Técnico	RNE E.050	Cimiento Corrido	Ancho del cimiento	≥ 0.50 m	Valor de referencia correspondiente a criterios mínimos establecidos por la RNE E.050 para cimentaciones superficiales en edificaciones de albañilería, teniendo en cuenta las condiciones habituales de suelo y cargas.
Técnico	RNE E.050	Cimiento Corrido	Profundidad de desplante	≥ 0.80 m	La profundidad mínima de desplante se adopta según las disposiciones generales de la RNE E.050, orientadas a garantizar la estabilidad del sistema de cimentación para un adecuado desempeño frente a acciones del terreno.
Técnico	RNE E.050	Cimiento Corrido	F'c mínimo	≥ 10 MPa	Valor técnico de referencia comúnmente aceptado en la práctica constructiva nacional para cimentaciones superficiales, en relación con los lineamientos generales de la E.050.
Técnico	RNE E.060	Columna	Ancho de la sección transversal	≥ 0.25 m	Valor establecido a partir de criterios normativos indirectos y constructivos, como son el recubrimiento mínimo del concreto, separación mínima entre barras de refuerzo, diámetro de aceros

					longitudinales y correcta colocación de los estribos, conforme a la RNE E.060.
Técnico	RNE E.060	Columna	Peralte de la sección transversal	≥ 0.25 m	Valor establecido a partir de criterios normativos indirectos y constructivos, como son el recubrimiento mínimo del concreto, separación mínima entre barras de refuerzo, diámetro de aceros longitudinales y correcta colocación de los estribos, conforme a la RNE E.060.
Técnico	RNE E.060	Columna	F'c mínimo	≥ 17 MPa	Valor establecido por la RNE E.060 para elementos estructurales de concreto armado en edificaciones de baja altura.
Técnico	RNE E.070	Muro portante	Longitud del muro	≥ 1.20 m	Valor establecido conforme a los criterios de la RNE E.070 el cual defines longitudes mínimas para garantizar la estabilidad, continuidad estructural y adecuado para contribuir a la resistencia de fuerzas horizontales.
Funcional	E.050	Cimiento corrido	Soporte continuo bajo muros portantes	Cumple / No cumple	Validación funcional y geométrica que verifica que el cimiento corrido se extienda de forma continua bajo la totalidad del muro portante, garantizando una correcta transmisión de cargas hacia el sistema de cimentación según criterios de la RNE E.050.

Funcional	RNE E.60	Columna	Asociación de sistema de cimentación	Cumple / No cumple	Validación funcional y geometría que verifica que la columna forme parte de un sistema estructural continuo, verificando que la columna como elemento estructural portante, transmita cargas hacia la cimentación. Con relación a la RNE E.060.
Funcional	E.070	Muro portante	Interferencias con columnas	Cumple / No cumple	Valor que evalúa la presencia de interferencias geométricas entre muros portantes y columnas estructurales, considerando que dichas interferencias no son permitidas según criterios definidos por la RNE E.070.

Nota: El sistema identifica estos parámetros como criterios de validación técnica, más no como restricciones normativas estrictas.

Los parámetros mostrados fueron elegidos a partir de una revisión sistemática de las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones aplicables a construcciones de albañilería. Cuando la norma menciona valores mínimos explícitos, estos fueron aplicados directamente. En aquellos casos cuando la norma no define un valor numérico exacto, se tomó en cuenta criterios normativos indirectos o valores técnicos de referencia que son ampliamente aceptados en la práctica constructiva nacional, manteniendo así la coherencia con los lineamientos y principios generales de las normativas vigentes. Cabe resaltar que los atributos normativos se encuentran implícitos en los valores técnicos y funcionales, la norma se utiliza como marco de referencia semántica para la validación más que como un atributo aislado del elemento.

5.10. Diseño y formalización ontológica para validación semántica

5.10.1. Estructuración del esquema ontológico en *Protégé*

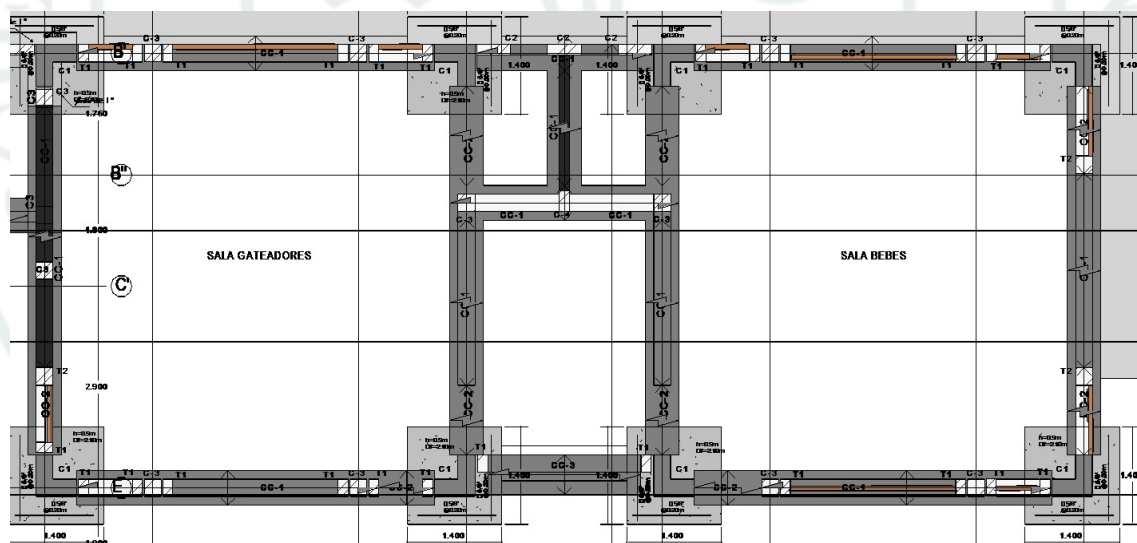
Con el objetivo de estructurar y formalizar el conocimiento asociado a los elementos estructurales del modelo BIM, se desarrolló un esquema ontológico que permite representar de manera explícita los componentes constructivos, sus atributos

técnicos, normativos y funcionales, así como las relaciones y reglas de validación definidas en el diseño de la estructura semántica BIM.

Este esquema ontológico fue formalizado mediante la herramienta Protégé, la cual permite modelar ontologías basadas en lenguajes semánticos, facilitando la organización jerárquica de las clases, la definición de propiedades de datos y objetos, así también la incorporación de reglas lógicas para el cumplimiento normativo. La ontología fue desarrollada utilizando el lenguaje OWL 2 (Web Ontology Language), específicamente bajo el perfil OWL 2 DL, basado en lógica descriptiva, que garantiza decidibilidad lógica y compatibilidad con razonadores automáticos como HermiT, permitiendo la verificación formal de consistencia del modelo.

Para la construcción y validación de la ontología en Protégé se seleccionó un subconjunto representativo del modelo BIM, corresponde a una de las áreas de mayor relevancia estructural dentro del proyecto, específicamente a los ambientes destinados a cuna-jardín, tales como la sala de gateadores y la sala de bebés.

Tabla 31
Sector analizado con la herramienta Protégé



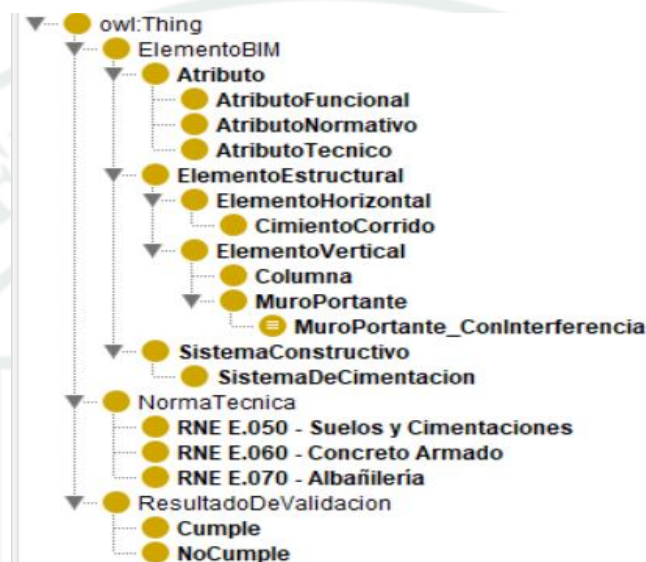
Nota: Sector correspondiente a la sala de gateadores y sala de bebés del proyecto Cuna Más-Majes.

Esta delimitación responde a un criterio metodológico de representatividad tipológica y reducción de complejidad ontológica, dado que la incorporación de la totalidad de los elementos del proyecto no aportaría nuevas relaciones semánticas ni variaciones normativas relevantes, sino únicamente redundancia de instancias.

La ontología desarrollada constituye el marco formal que respalda la estructura semántica previamente definida, sirviendo como base conceptual para la posterior implementación del proceso de validación automatizada en el entorno BIM.

Figura 13

Jerarquía de clases ontológicas



Nota: Estructura jerárquica definida en Prótegé para la representación semántica de los componentes estructurales analizados. a partir del programa Protégé.

La jerarquía de clases ontológicas presentadas define la estructura conceptual mediante la cual se representan los elementos estructurales del modelo BIM y sus atributos asociados. En el nivel superior se establecen las clases generales que permiten agrupar los conceptos fundamentales del dominio, haciendo una organización coherente y escalable al conocimiento.

La clase ElementoBIM constituye la base para la representación de los componentes del modelo, a partir del cual se derivan las clases ElementoEstructural, Atributo y SistemaConstructivo, permitiendo distinguir entre los elementos físicos del modelo y las propiedades que los describen. Dentro de la clase Atributo, se especifican las subclases AtributoFuncional, AtributoNormativo y AtributoTecnico, las cuales reflejan la clasificación previamente definida en el diseño de la estructura semántica.

Los elementos estructurales se organizan jerárquicamente a través de las clases ElementoHorizontal y ElementoVertical, permitiendo diferenciar su comportamiento y función estructural. En este contexto el CimientoCorrido se define como un

ElementoHorizontal, mientras que la Columna y MuroPortante se modelan como ElementosVerticales responsable de transmitir cargas hacia la cimentación.

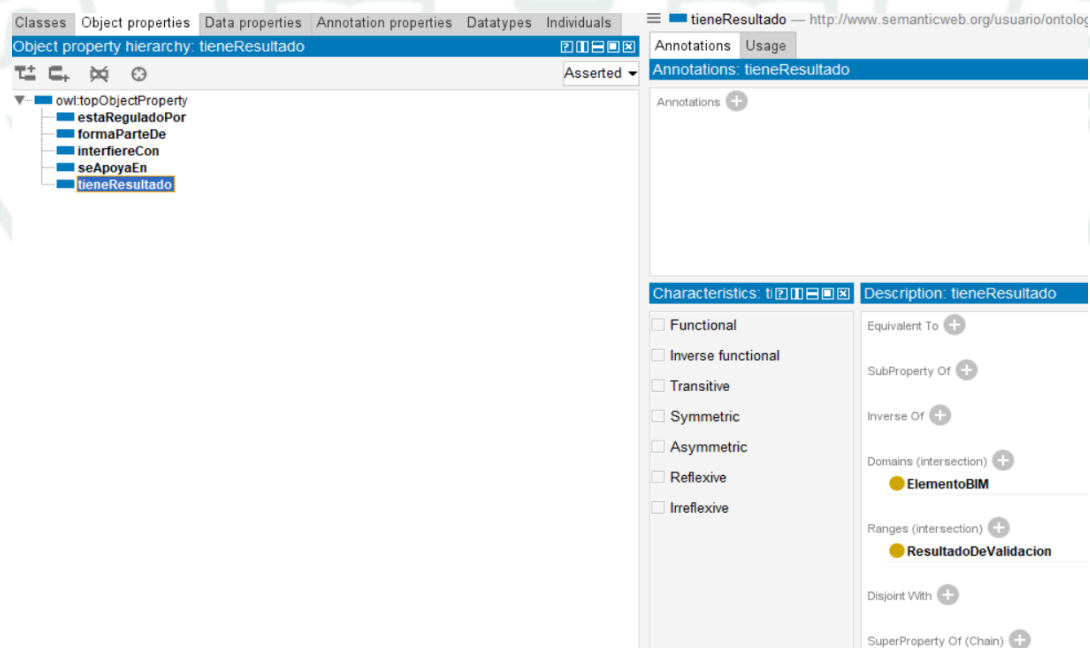
Así mismo, se establece la clase SistemaConstructivo, que agrupa los subsistemas estructurales relevantes como el SistemaDeCimentacion, facilitando la contextualización de los elementos dentro del conjunto estructural del proyecto. De igual manera la clase NormaTecnica integra las disposiciones normativas aplicables previamente definidas como lo son la RNE E.050, E.060 y E.070, las cuales establecen los criterios mínimos de cumplimiento para cada tipo de elemento.

Finalmente, la clase ResultadoDeValidacion permite representar el estado de cumplimiento normativo y funcional de cada elemento evaluado, definiendo las instancias Cumple o NoCumple. Esta clase constituye el vínculo entre la información extraída del modelo BIM y el resultado del proceso de validación semántica.

Para poder complementar la estructura jerárquica presentada, se definieron propiedades ontológicas que establecen las relaciones explícitas entre los elementos BIM, sus atributos y normas técnicas aplicables.

Figura 14

Definición de propiedades de objeto y restricciones semánticas en el esquema ontológico



Nota: Entorno Protégé que muestra la configuración de propiedades de objeto, dominio y rango utilizados en la ontología para la validación semántica. a partir del programa Protégé.

Las propiedades de objeto establecidas permiten establecer relaciones semánticas entre los elementos estructurales del elemento BIM, los sistemas constructivos y resultados del proceso de validación. Propiedades como *formaParteDe*, *seApoyaEn*, e *InterfiereCon* permite modelar relaciones jerárquicas, geométricas y funcionales entre los elementos, por otro lado, la propiedad *estaReguladoPor* vincula los componentes con la normativa aplicable. Asimismo, la propiedad *tieneResultado* permite registrar el estado de cumplimiento obtenido durante la validación automática, integrando información técnica con el proceso de verificación normativa dentro del modelo semántico.

Como parte del diseño del esquema ontológico, se definieron propiedades de datos destinadas a representar los atributos técnicos y normativos extraídos del modelo BIM. Estas propiedades permiten almacenar valores cuantificables y verificables que serán utilizados durante el proceso de validación semántica.

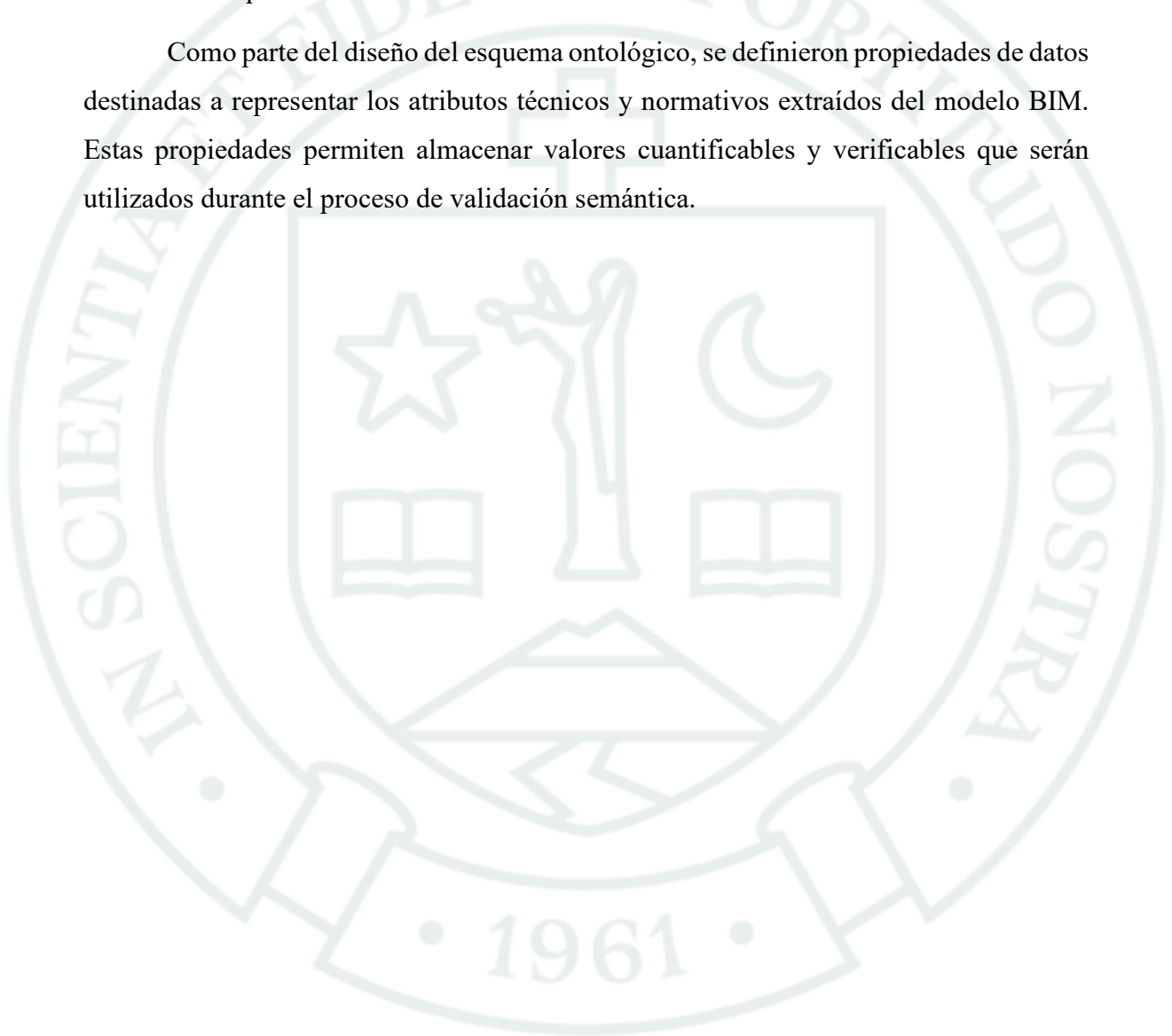
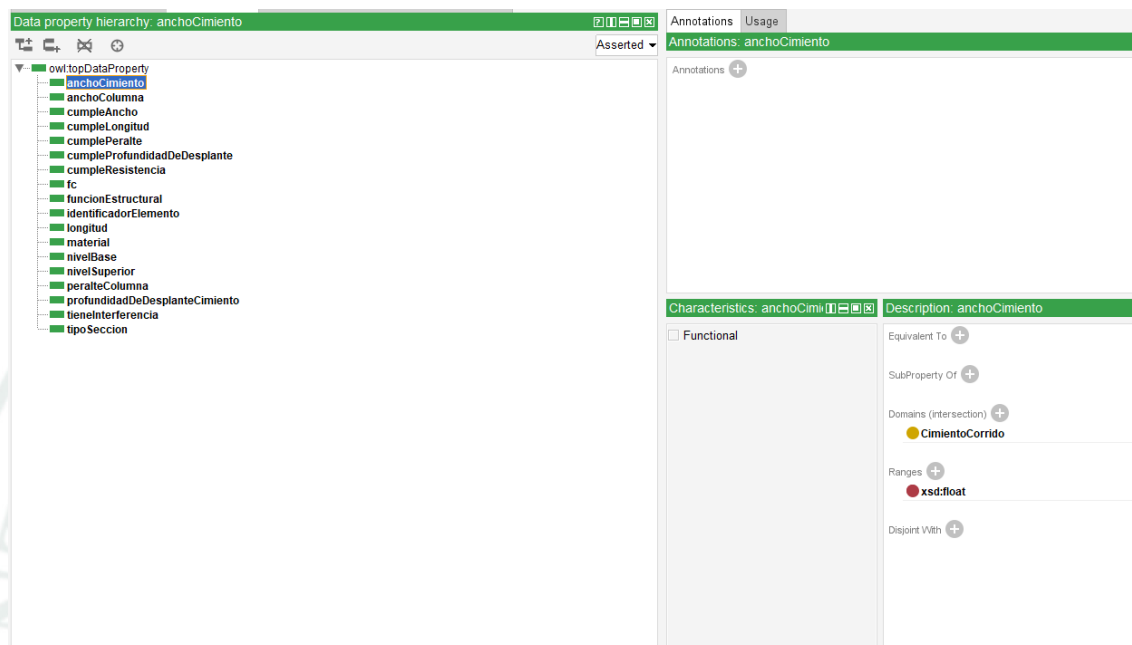


Figura 15

Definición de propiedades de datos para atributos técnicos y normativos en el esquema ontológico



Nota: Entorno Protégé que muestra la configuración de propiedades de datos, dominio (clases asociadas) y rango (tipo de dato: numérico, booleano o texto) utilizados para representar atributos técnicos o normativos. a partir del programa Protégé.

Cada propiedad de datos fue asociada a la clase correspondiente mediante la definición de su dominio, y se le asignó un tipo de dato adecuado según la naturaleza del atributo (numérico, booleano o textual). Para la definición de las propiedades ontológicas se adoptó una nomenclatura conceptual normalizada en formato camelCase, priorizando claridad semántica y neutralidad tecnológica. En el entorno BIM, los parámetros compartidos fueron codificados utilizando prefijos específicos por tipo de elemento (por ejemplo, “COL_” para columnas), con fines organizativos y operativos. No obstante, ambos esquemas mantienen correspondencia semántica directa, garantizando coherencia entre el modelo ontológico y su implementación en Revit.

Esta estructuración permite organizar de manera formal y coherente los valores técnicos extraídos desde el entorno BIM, estableciendo la base semántica que será utilizada posteriormente en el proceso de validación automatizada del cumplimiento normativo.

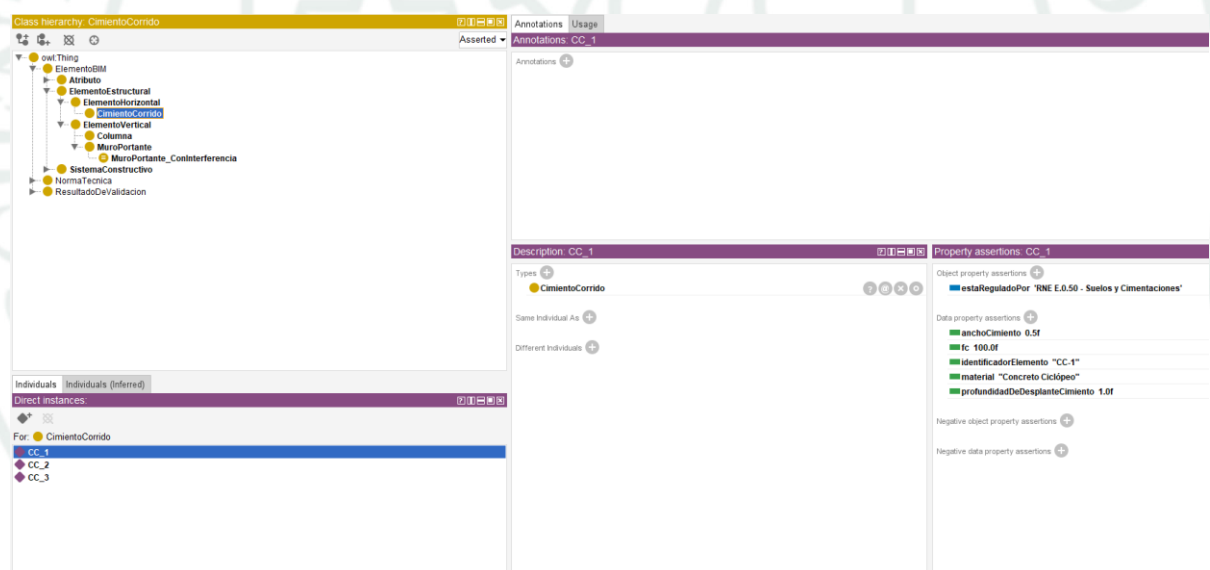
5.10.2. Definición de individuos (individuals)

Una vez definida la estructura conceptual de clases y propiedades ontológicas, se procedió a la creación de individuos (individuals), los cuales representan instancias concretas dentro del dominio modelado. Mientras que las clases establecen categorías generales del conocimiento, los individuos permiten materializar elementos específicos del modelo BIM dentro de la ontología, posibilitando su evaluación mediante razonadores automáticos.

En este contexto, los individuos cumplen un rol fundamental, ya que constituyen la representación directa de los elementos estructurales reales extraídos del modelo BIM, así como de las normas técnicas aplicables y los resultados obtenidos durante el proceso de validación

Figura 16

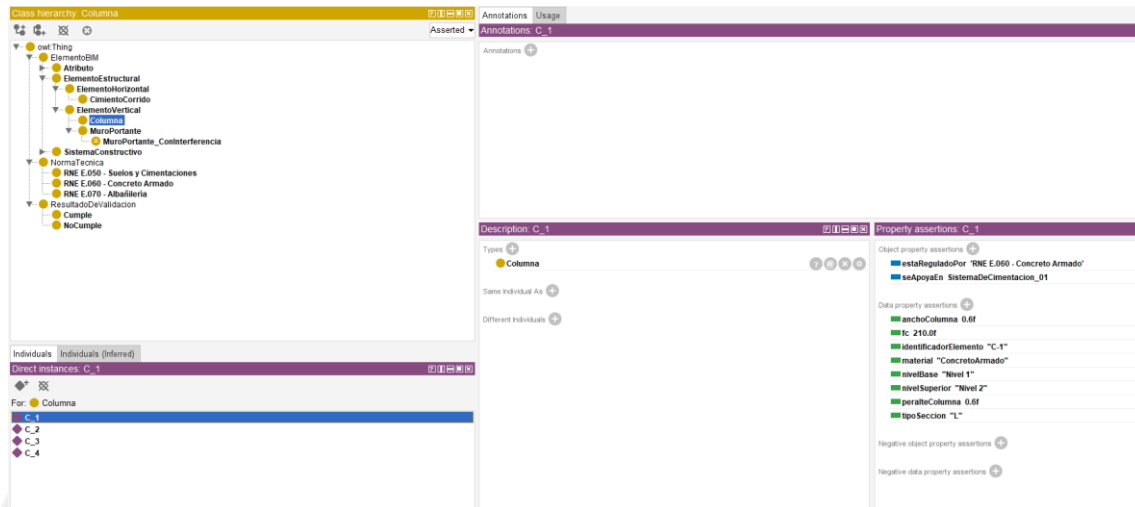
Valores asignados a los individuos de la clase CimientoCorrido



Nota: Se encontró 3 tipos de cimientos corridos dentro del área de estudio. a partir del programa Protégé.

Figura 17

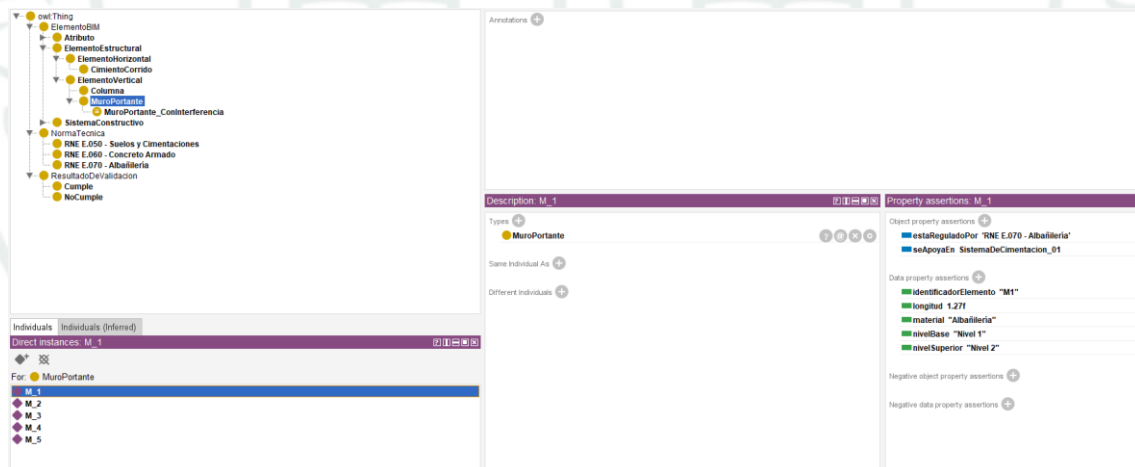
Valores asignados a los individuos de la clase Columna



Nota: Se encontró 4 tipos de columnas dentro del área de estudio. a partir del programa Protégé.

Figura 18

Valores asignados a los individuos de la clase MuroPortante



Nota: Se encontró 5 tipos de muros portantes dentro del área de estudio. a partir del programa Protégé.

Los elementos estructurales específicos extraídos desde el entorno BIM pueden representarse como individuos de las clases correspondientes (instancias como CC_1, CC_2, CC_3, C_1, C_2, C_3, C_4, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5), a los cuales se les asignan valores concretos mediante propiedades de datos previamente definidas. De esta

forma, atributos como dimensiones geométricas, materiales, resistencia del concreto o parámetros normativos quedan formalmente vinculados al elemento individual, posibilitando su evaluación automática mediante reglas lógicas.

La incorporación de individuos permite que la ontología trascienda el nivel conceptual y opere sobre datos reales del proyecto, activando el razonador HermiT para verificar consistencia, inferir clasificaciones implícitas y determinar el estado de cumplimiento de cada elemento estructural. En este sentido, los individuos constituyen el puente entre la abstracción semántica del modelo ontológico y la información técnicas proveniente del entorno BIM.

5.10.3. Resultados de formalización ontológica

Como resultado del proceso de formalización ontológica, se obtuvo la estructuración definitiva de las propiedades de datos asociadas a los elementos estructurales del modelo BIM.

En la siguiente tabla se presenta el conjunto de propiedades definidas, indicando su dominio (clase a la que pertenecen) y su rango (tipo de dato asignado), conforme a los estándares OWL 2.

Esta formalización garantiza coherencia semántica, control tipológico de la información y consistencia lógica dentro del modelo ontológico, permitiendo su posterior utilización en procesos automatizados de validación normativa.

Tabla 32

Definición formal de propiedades de datos del esquema ontológico

Propiedad ontológica	Dominio	Rango
anchoCimiento	ElementoEstructural	xsd.float
anchoColumna	Columna	xsd.float
f'c	ElementoEstructural	xsd.float
función estructural	ElementoBIM	xsd.string
identificadorElemento	ElementoBIM	xsd.string
Longitud	MuroPortante	xsd.float

Material	ElementoEstructural	xsd.string
nivelBase	ElementoVertical	xsd.string
nivelSuperior	ElementoVertical	xsd.string
peralteColumna	Columna	xsd.float
profundidadDeDesplanteCimiento	CimientoCorrido	xsd.float
tieneInterferencia	ElementoEstructural	xsd.boolean
tipoDeSeccion	Columna	xsd.string
cumpleAncho	ElementoEstructural	xsd.boolean
cumpleLongitud	MuroPortante	xsd.boolean
cumplePeralte	Columna	xsd.boolean
cumpleProfundidadDeDesplante	CimientoCorrido	xsd.boolean
cumpleResistencia	ElementoEstructural	xsd.boolean

Nota: Los rangos definidos corresponden a tipos de datos del estándar CML Schema Definition (XSD), donde *xsd.float* representa valores numéricos con decimales, *xsd.string* cadenas de texto alfanuméricas y *xsd.boolean* valores lógicos binarios (verdadero/falso).

La definición explícita del dominio y rango permitió restringir formalmente la aplicación de cada propiedad dentro del modelo, asegurando coherencia semántica y control tipológico de la información técnica proveniente del entorno BIM.

5.10.4. Ejecución del razonador y verificación experimental

Se definieron restricciones ontológicas sobre determinadas clases estructurales modeladas mediante axiomas, en este contexto los axiomas corresponden a las reglas formales que establecen jerarquías de clases, dominios, rangos y restricciones lógicas entre los elementos del modelo, estableciendo condiciones mínimas que deben cumplir los individuos para ser considerados válidos dentro del dominio normativo representado.

Se incorporaron restricciones asociadas a la resistencia mínima del concreto tanto para la clase *Columna* como para *CimientoCorrido*. Estas restricciones permiten que, al asignar un valor inferior al umbral definido, el razonador detecte inconsistencia lógica.

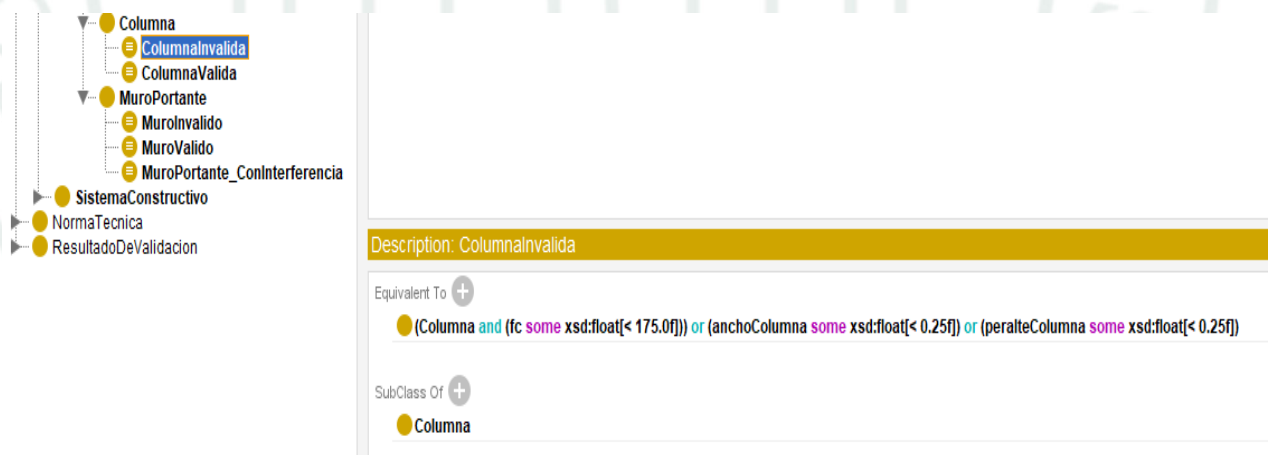
De manera complementaria, en la clase *CimientoCorrido* se definieron restricciones relacionadas con el ancho mínimo del cimiento y la profundidad mínima de desplante, mismo caso que en las columnas se establecieron restricciones vinculadas al ancho mínimo y al peralte mínimo.

Para el caso de muros portantes, se incorporó una restricción correspondiente a la longitud mínima del muro, garantizando que únicamente aquellos individuos cuya dimensión longitudinal supere el valor normativo puedan ser considerados estructuralmente válidos dentro del modelo semántico.

Dentro del punto de vista estructural del dominio, se estableció un axioma de disyunción (Disjoint Classes) entre las clases *ElementoVertical* y *ElementoHorizontal*. Esta restricción evita que un mismo individuo pueda ser clasificado simultáneamente como elemento vertical y horizontal, reforzando la consistencia lógica del modelo.

Figura 19

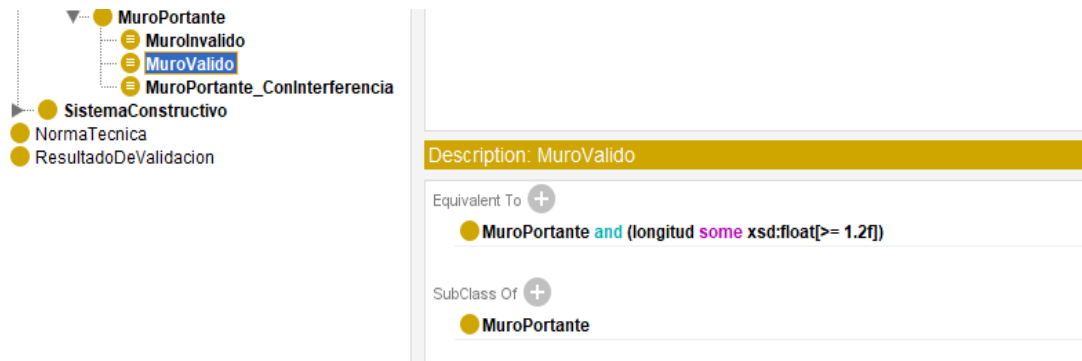
Restricciones y axiomas de la clase Columna



Nota: A partir del programa Protégé.

Figura 20

Restricciones y axiomas de la clase MuroPortante



Nota: A partir del programa Protégé.

Figura 21

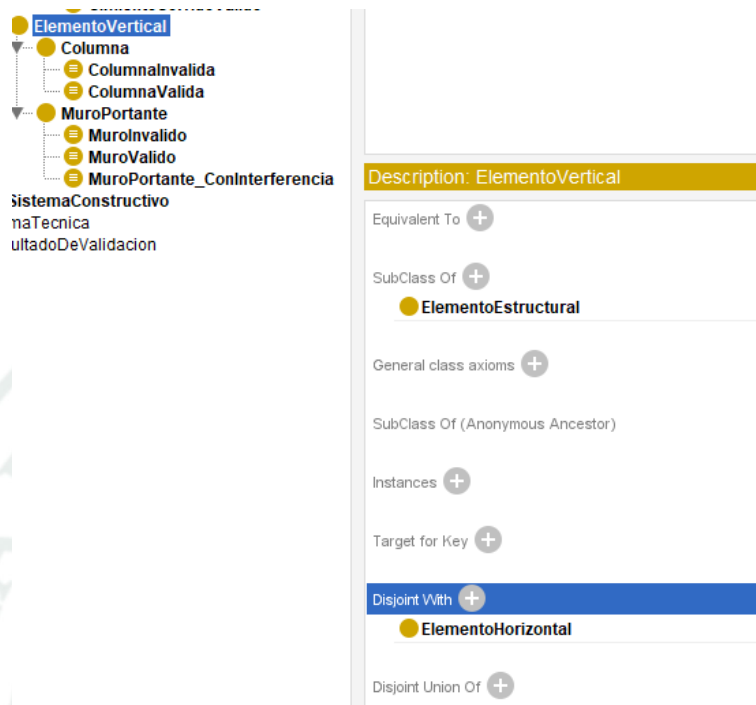
Restricciones y axiomas de la clase CimientoCorrido



Nota: A partir del programa Protégé.

Figura 22

Disyunción entre la clase ElementoVertical y ElementoHorizontal



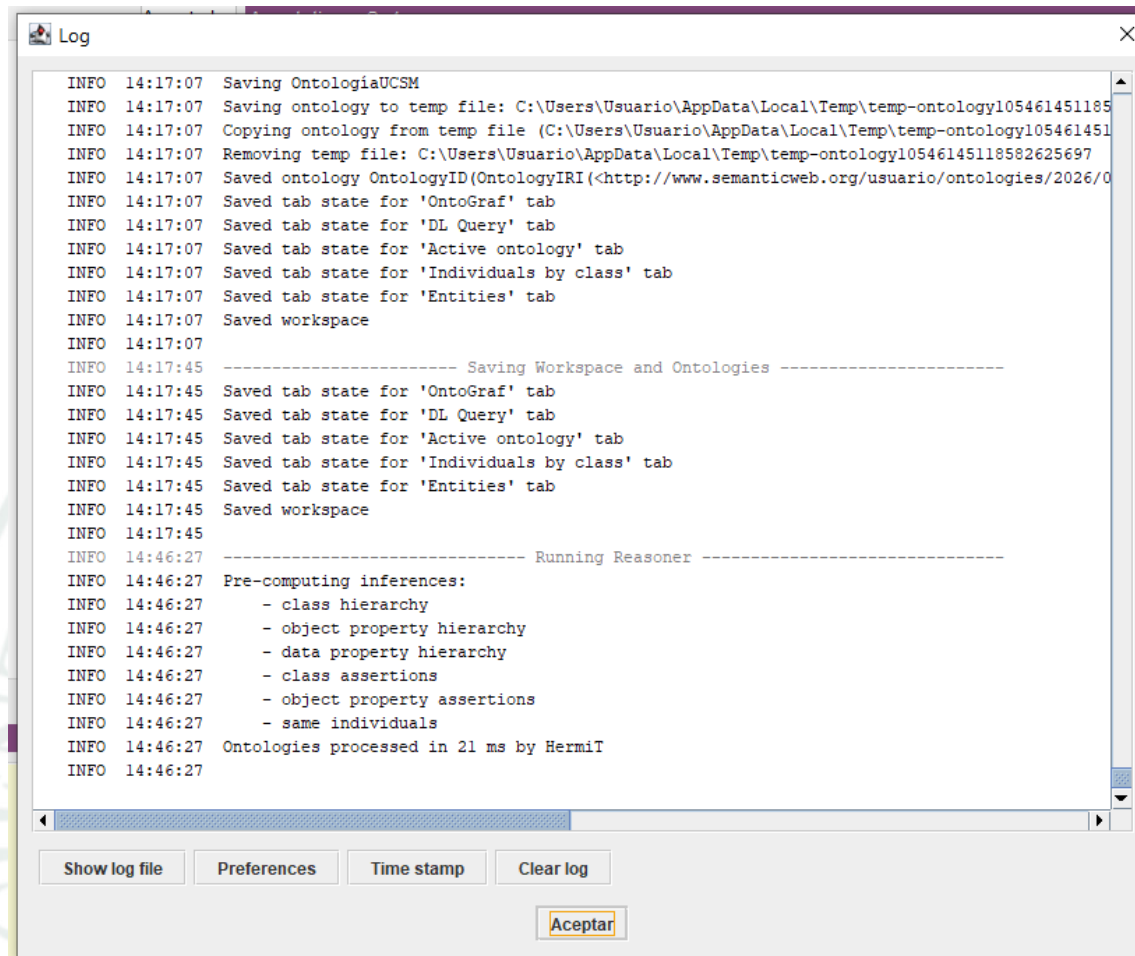
Nota: A partir del programa Protégé.

Con el propósito de verificar coherencia lógica del modelo ontológico y evaluar la capacidad de inferencia automática del sistema, se procedió a la ejecución del razonador HermiT en el entorno Protégé. Esta etapa permitió comprobar tanto la consistencia global de la ontología como la correcta clasificación de los individuos en función de las restricciones normativas previamente definidas.

Inicialmente, tras la ejecución del razonador, la ontología resultó consistente, confirmando que no existían contradicciones lógicas entre clases, propiedades y axiomas establecidos. Asimismo, el razonador reorganizó automáticamente la jerarquía de clases inferidas, validando la estructura semántica modelada bajo el perfil OWL 2 DL.

Figura 23

Verificación de consistencia ontológica mediante el razonador HermiT en OWL 2DL



Nota: Clasificación automática del razonador HermiT sin detectar conflictos. a partir del programa Protégé.

Teniendo los valores que se asignaron con anterioridad a los individuos, y con el razonador ejecutado, se muestra que los individuos fueron clasificados automáticamente dentro de las clases *ColumnaValida* o *ColumnaInvalida*, *CimientoCorridoValido* o *CimientoCorridoInvalido*, *MuroPortanteValido* o *MuroPortanteInvalido* según sea el caso. Teniendo en cuenta que deben satisfacer los requisitos mínimos establecidos para cada elemento estructural:

- *Columna:*

$$f^c \geq 175$$

$$\text{anchoColumna} \geq 0.25$$

$$\text{peralteColumna} \geq 0.25$$

- CimientoCorrido

$$\text{profundidadDeDesplanteCimiento} \geq 0.80$$

$$\text{anchoCimiento} \geq 0.50$$

$$f'c \geq 100$$

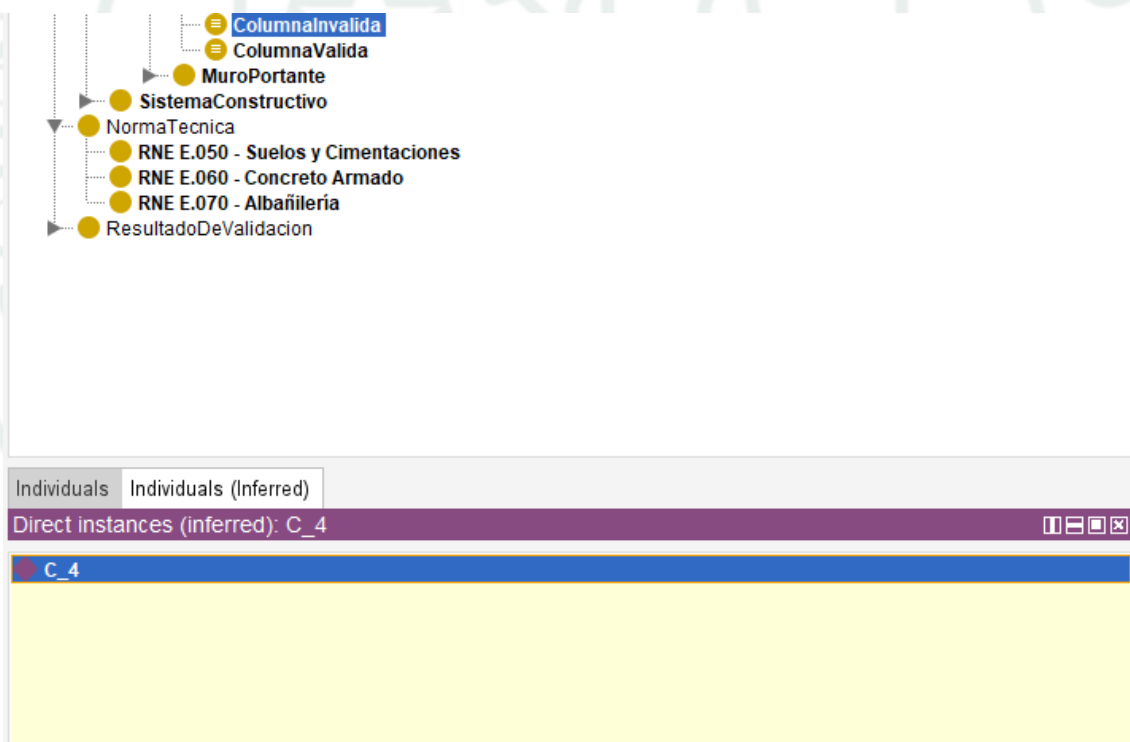
- MuroPortante

$$\text{longitud} \geq 1.20$$

Se observa que la C_4 fue categorizada en la subclase ColumnaInvalida, al consultar con el razonador nos hace saber que su peralte es de 0.15 m, por lo que no cumple con el mínimo establecido de 0.25 m.

Figura 24

C_4 clasificada como ColumnaInvalida



Nota: Clasificación como ColumnaInvalida por no cumplir al menos uno de los requisitos mínimos. a partir del programa Protégé.

Figura 25

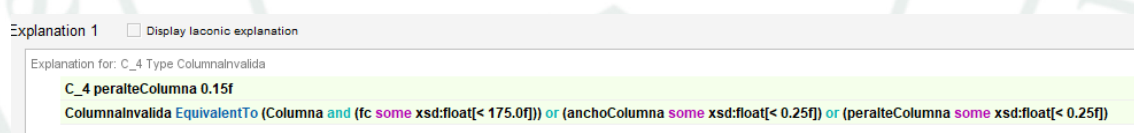
C_1, C_2 y C_3 clasificadas como ColumnaValida



Nota: Clasificación como ColumnaValida por cumplir todos los requisitos mínimos. a partir del programa Protégé.

Figura 26

Explicación del incumplimiento de la restricción

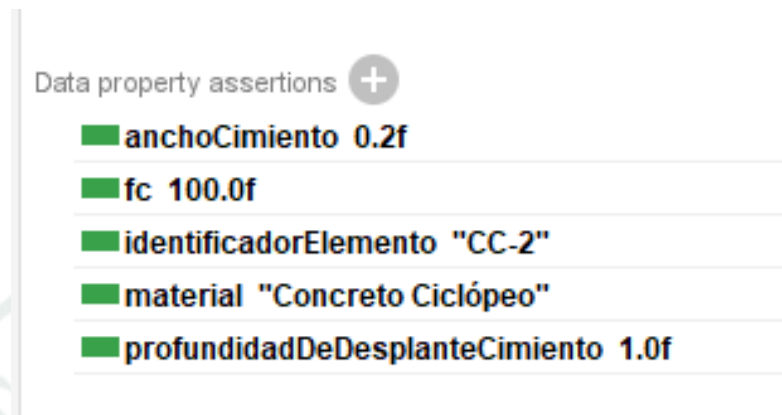


Nota: Protégé nos permite conocer en qué parte del sistema se produce la invalidación a partir del programa Protégé.

Como un segundo escenario, se modificaron determinados valores debajo de los mínimos establecidos, se redujo el valor de f'_c de la columna C_2 a 140 y el valor de anchoCimiento del cimiento corrido CC_2 a 0.20.

Figura 27

Cambio del valor de anchoCimiento c del CC_2

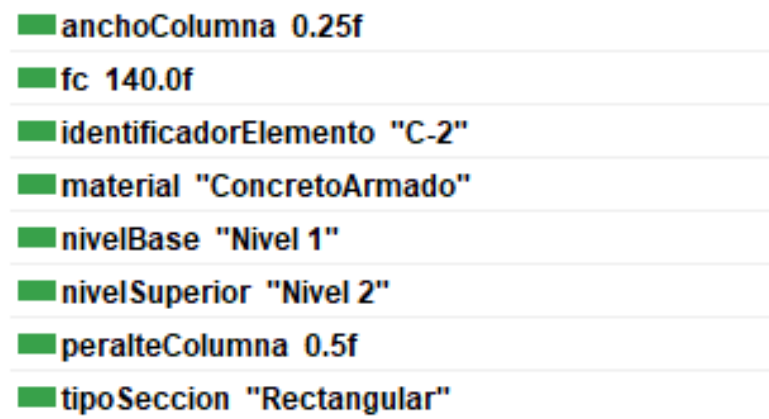


Data property assertions +	
■ anchoCimiento	0.2f
■ fc	100.0f
■ identificadorElemento	"CC-2"
■ material	"Concreto Ciclópeo"
■ profundidadDeDesplanteCimiento	1.0f

Nota: A partir del programa Protégé.

Figura 28

Cambio del valor de f'_c de la C_2



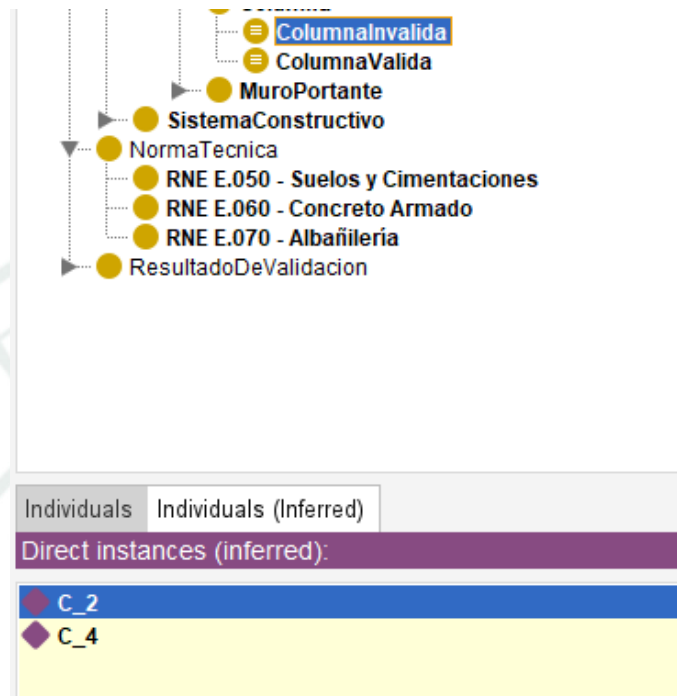
■ anchoColumna	0.25f
■ fc	140.0f
■ identificadorElemento	"C-2"
■ material	"Concreto Armado"
■ nivelBase	"Nivel 1"
■ nivelSuperior	"Nivel 2"
■ peralteColumna	0.5f
■ tipoSeccion	"Rectangular"

Nota: A partir del programa Protégé.

Como resultado el razonador nos indica que ahora la columna C_4 y C_2 fueron categorizadas en ColumnaInvalida y el cimiento corrido CC_2 fue categorizado como CimientoCorridoInvalido.

Figura 29

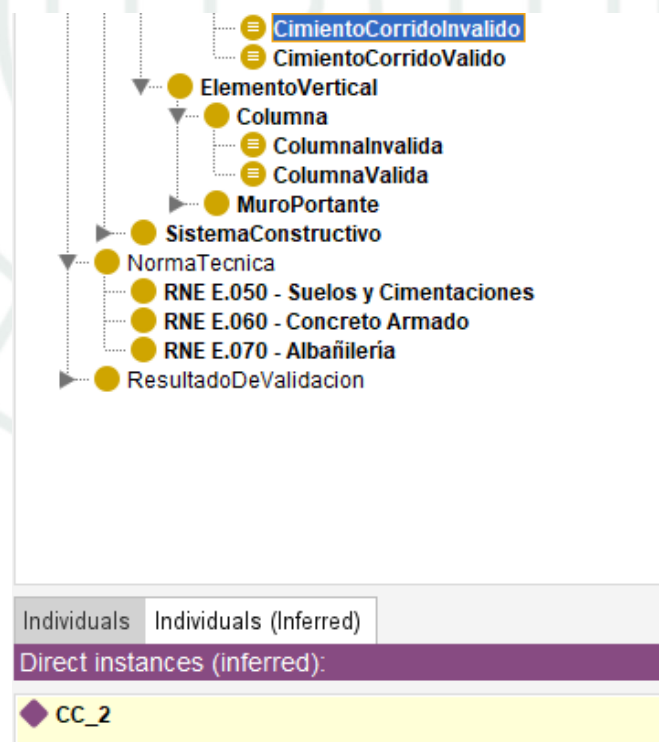
C_2 y C:4 clasificados como CimientoCorridoInvalido



Nota: A partir del programa Protégé.

Figura 30

CC_2 categorizado como CimientoCorridoInvalido



Nota: A partir del programa Protégé.

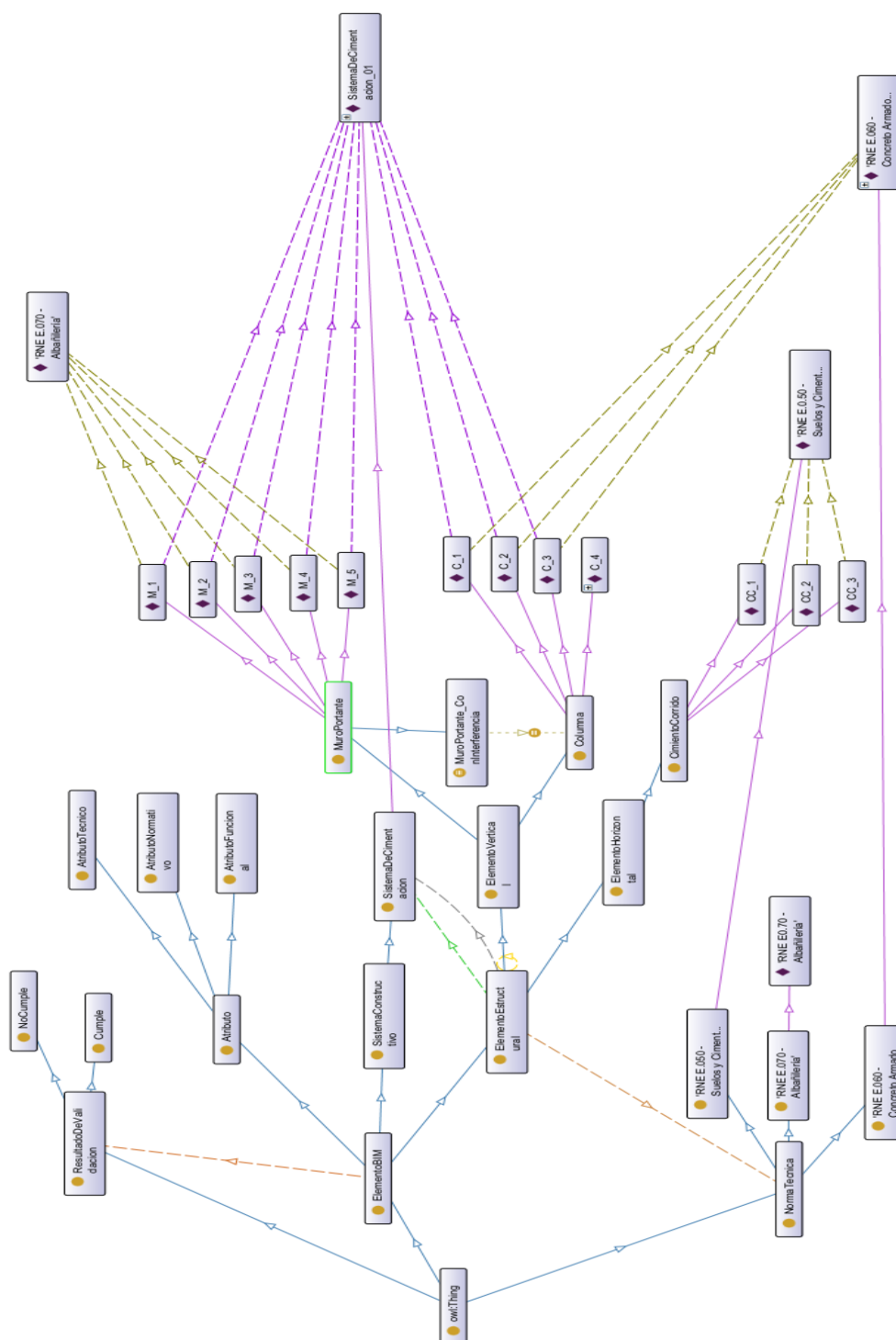
Este comportamiento confirma que la ontología no actúa como un simple repositorio de información, sino como un sistema lógico capaz de evaluar condiciones normativas formales y generar inferencias basadas en restricciones cuantificables.

Es importante señalar que, bajo el principio propio de OWL 2 DL, el razonador no opera como un sistema de validación imperativo que “lanza errores” ante valores menores al mínimo. En su lugar, realiza clasificación semántica automática en función de las condiciones definidas mediante axiomas.

La detección de incumplimiento no se manifiesta necesariamente como inconsistencia global del modelo, sino como una reclasificación lógica del individuo dentro de una categoría distinta, lo que constituye una forma de validación semántica basada en inferencia formal.

Finalmente, se empleó el complemento OntoGraf para visualizar gráficamente las relaciones jerárquicas y de clasificación inferidas por el razonador. Esta representación permitió observar de manera estructurada cómo los individuos se vinculan con sus respectivas clases de cumplimiento, reforzando la trazabilidad entre los atributos técnicos extraídos del modelo BIM y el resultado de validación ontológica

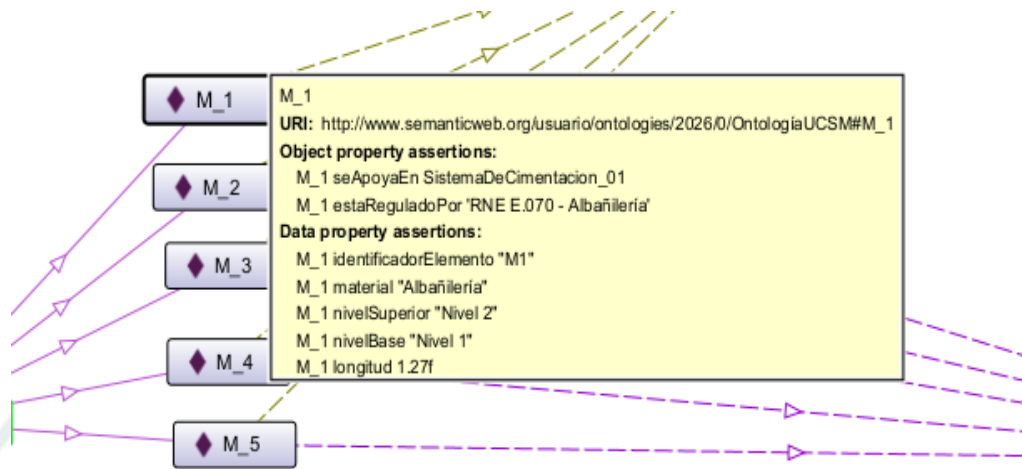
Representación gráfica de la ontología para la validación semántica de elementos estructurales



150

Figura 32

Individuo ontológico con propiedades asociadas



Nota: La imagen muestra el individuo M_1 con sus propiedades de objeto y datos asociados, generados en Protégé mediante la herramienta OntoGraf.

Se muestra una vista detallada del individuo M_1 dentro del Ontograf de Protégé, correspondiente a un muro portante del área de análisis del proyecto. En ella se pueden observar las aserciones de propiedades asociadas al elemento: mediante las object properties, se establece que M_1 se apoya en el sistema de cimentación (*seApoyaEn SistemaDeCimentacion_01*) y está regulado por la norma técnica correspondiente (*estaReguladoPor RNE E.070 - Albañilería*). Asimismo, a través de data properties, se registran los atributos técnicos del elemento, tales como su identificador (*M1*), material (*Albañilería*), niveles de desarrollo (*nivelBase: Nivel 1 / nivelSuperior: Nivel 2*) y longitud (*1.27f*). Esta representación evidencia cómo cada elemento BIM queda descrito de forma estructurada y semánticamente enriquecida dentro de la ontología, permitiendo su posterior validación automática mediante PyRevit.

En síntesis, la formalización del modelo ontológico en Protégé permitió estructurar conceptualmente los elementos del sistema constructivo, definiendo clases, propiedades y restricciones lógicas que representan el dominio estructural analizado. La ejecución del razonador validó la coherencia interna del modelo, evidenciando la correcta clasificación automática de los individuos y la ausencia de inconsistencias semánticas. De esta manera, se confirma que la ontología desarrollada constituye una base formal sólida para la integración, verificación y trazabilidad de la información dentro del entorno BIM.

CAPÍTULO VI

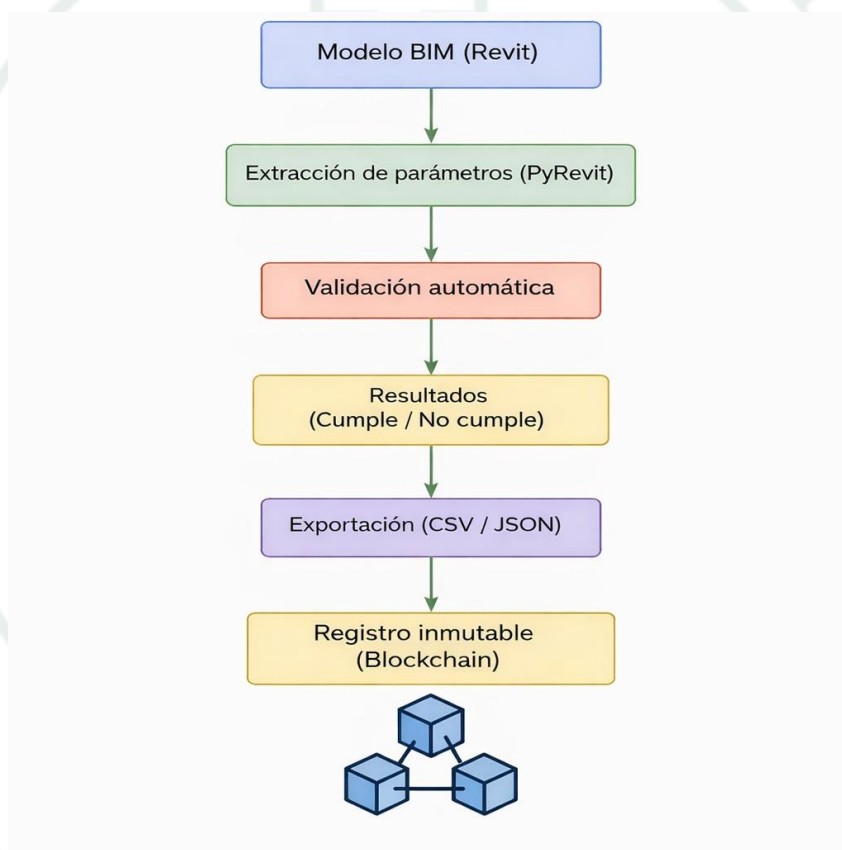
6. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SEMANTIC BIM - BLOCKCHAIN

6.1. Flujo metodológico del proceso de validación automática

Luego de haber definido y formalizado el esquema semántico, las reglas lógicas y los parámetros de validación, se establece un flujo metodológico que describe el proceso de validación automática de los elementos estructurales del modelo BIM.

Figura 33

Flujo metodológico del proceso de validación automática de elementos estructurales BIM



Nota: El diagrama muestra el funcionamiento integral del flujo metodológico de validación automática de elementos estructurales basado en BIM y reglas normativas.

El proceso se inicia con el modelado del proyecto en un entorno BIM (Revit), donde los elementos estructurales fueron configurados incorporando parámetros técnicos, normativos y funcionales previamente definidos en la estructura semántica formalizada en el capítulo anterior.

Posteriormente, mediante scripts desarrollados en PyRevit, se realiza la extracción y validación automática de dichos parámetros, comparando los valores modelados con los criterios establecidos en las normas técnicas aplicables (RNE E.050, E.060, E.070).

La validación automática implementada mediante scripts en PyRevit se ejecutó sobre la totalidad del modelo BIM con el fin de evaluar la escalabilidad y aplicabilidad del sistema propuesto en un entorno real de proyecto.

Como resultado de este proceso, cada elemento evaluado es clasificado bajo un estado de cumplimiento o no cumplimiento, generando registros estructurados de validación.

Los resultados obtenidos son exportados en formatos interoperables (CSV y JSON), lo que permite su posterior procesamiento. En esta etapa, los datos son interpretados conforme al esquema ontológico y a las reglas lógicas definidas, garantizando coherencia semántica y trazabilidad normativa.

Finalmente, los registros de validación son interpretados en una red local de blockchain, asegurando la integridad, inmutabilidad y transparencia de la información generada. Este flujo metodológico permite demostrar la sinergia entre BIM y tecnologías semánticas y de registro distribuido, orientada a la automatización y confiabilidad del control normativo en proyectos de edificación

6.2. Implementación de la validación automática en el entorno BIM

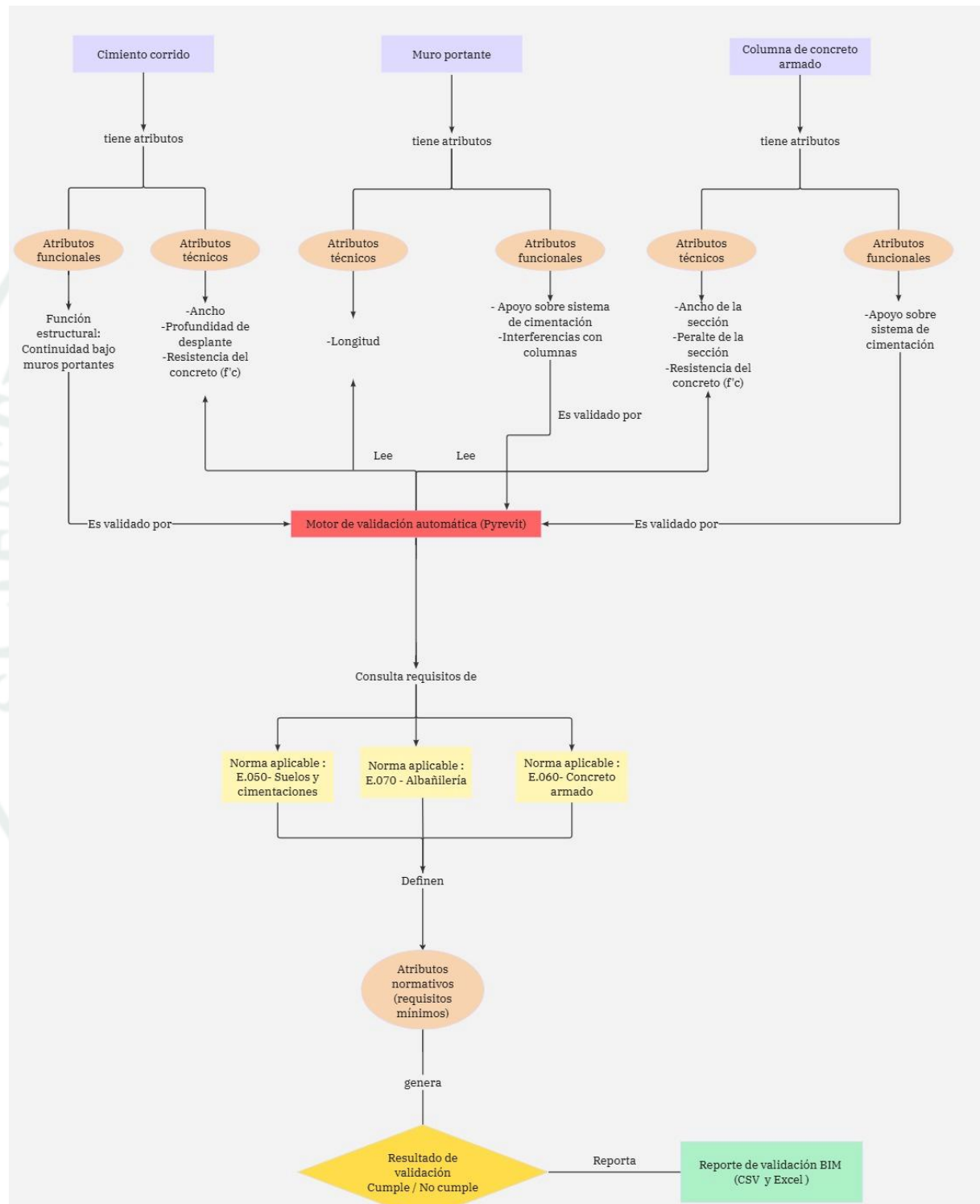
En concordancia con el flujo metodológico descrito en el apartado 6.1, en esta sección se detalla la implementación técnica del proceso de validación automática del entorno BIM. El proceso se basa en la lectura de parámetros compartidos asignados a los elementos constructivos modelados en Revit, (cimientos corridos, columnas y muros portantes) los cuales representan los atributos previamente definidos (técnicos, funcionales y normativos). Estos valores son evaluados mediante reglas de validación preestablecidas, obteniéndose como resultado un estado de cumplimiento o no cumplimiento para cada elemento y parámetro analizado.

Los resultados de la validación automática son organizados en formatos interoperables (CSV y Excel), lo que permite su posterior transformación a formatos semánticos y su integración con sistemas externos, garantizando la trazabilidad,

reutilización y consistencia de la información a lo largo del flujo metodológico propuesto.

Figura 34

Generación del reporte de resultado de validación semántica



Nota: El gráfico muestra la arquitectura de validación semántica de los elementos BIM.

6.2.1. Modelado BIM y asignación de parámetros compartidos

Para la implementación del proceso de validación automática propuesto, se desarrolló el modelado BIM incorporando los principales elementos estructurales del proyecto, tales como cimientos corridos, muros portantes y columnas. Sobre estos elementos se asignaron parámetros compartidos previamente definidos, diferenciando aquellos de carácter informativo de los destinados a la verificación normativa.

El proyecto comprende diversos ambientes de uso educativo, entre los que destacan la sala de caminantes, sala de gateadores, talleres de exploración, ludoteca y sala de bebés, los cuales concentran una importante presencia de elementos estructurales y relaciones constructivas. Esta diversidad tipológica permitió evaluar el comportamiento del sistema en distintos contextos geométricos y funcionales dentro del modelo.

La incorporación sistemática de parámetros compartidos en cada elemento estructural garantizó la homogeneidad de la información, facilitando su posterior extracción formalización ontológica y evaluación mediante el razonador semántico. De esta manera, el modelo BIM se constituyó en la base de datos estructurada sobre la cual se implementó el sistema de validación propuesto.

Figura 35

Vista arquitectónica del proyecto



Nota: Contextualización del proyecto analizado.

Figura 36

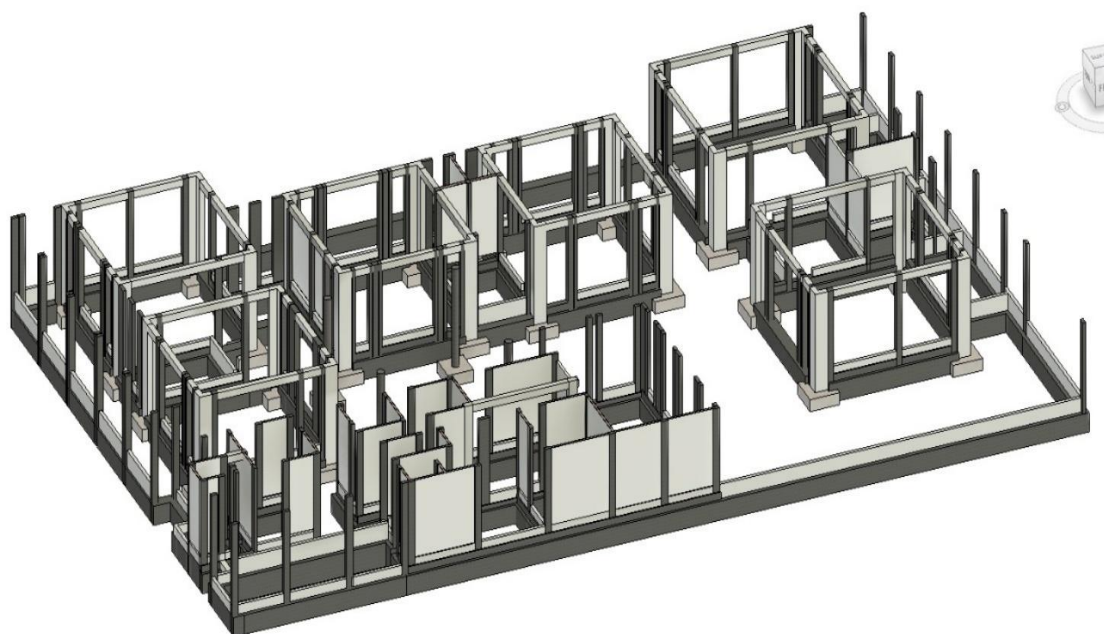
Vista en planta estructural del proyecto



Nota: Modelado estructural de los diferentes ambientes del proyecto Cuna Más - Majes.

Figura 37

Vista tridimensional estructural del modelo



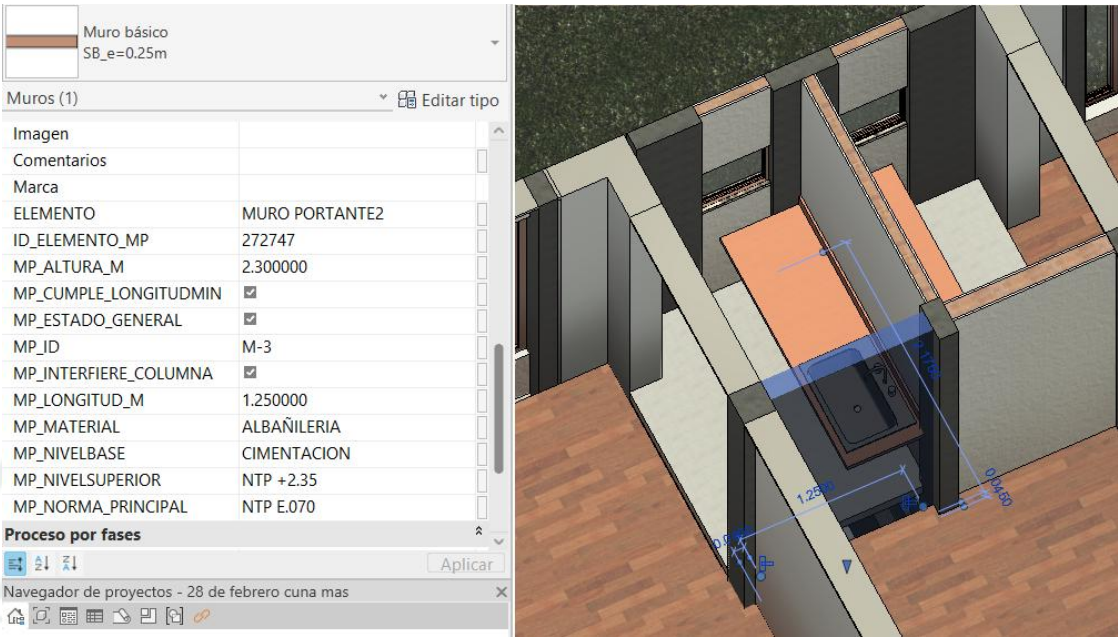
Nota: Modelado estructural en vista 3D de los diferentes ambientes del proyecto Cuna Más - Majes.

Una vez modelado los diferentes sectores del proyecto, se procedió a la asignación y verificación de los parámetros compartidos en los elementos estructurales BIM definidos. Estos parámetros permiten almacenar los atributos técnicos, normativos y funcionales necesarios para ejecutar el proceso de validación automática mediante PyRevit.

Estos parámetros constituyen la fuente de datos para el proceso de validación. Sin su correcta estructuración, el sistema no podría ejecutar comparaciones normativas automatizadas.

Figura 38

Parámetros compartidos asignados a un tipo de muro portante

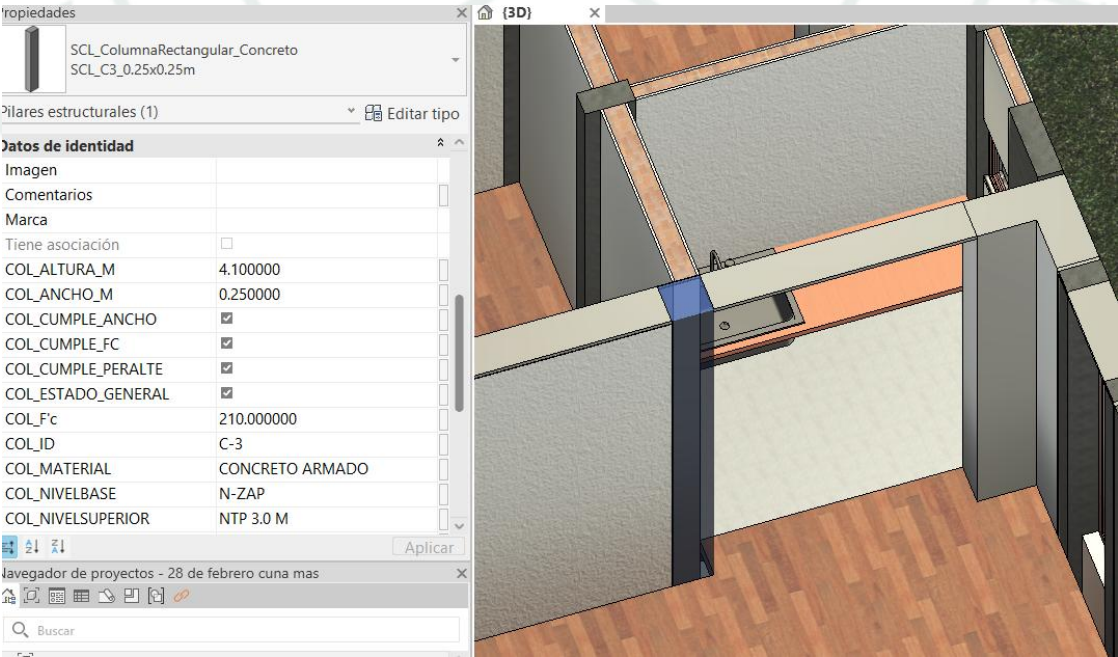


Nota: Tomado del modelo en Revit.

La figura la asignación de parámetros compartidos según los atributos para muros portantes seleccionados anteriormente.

Figura 39

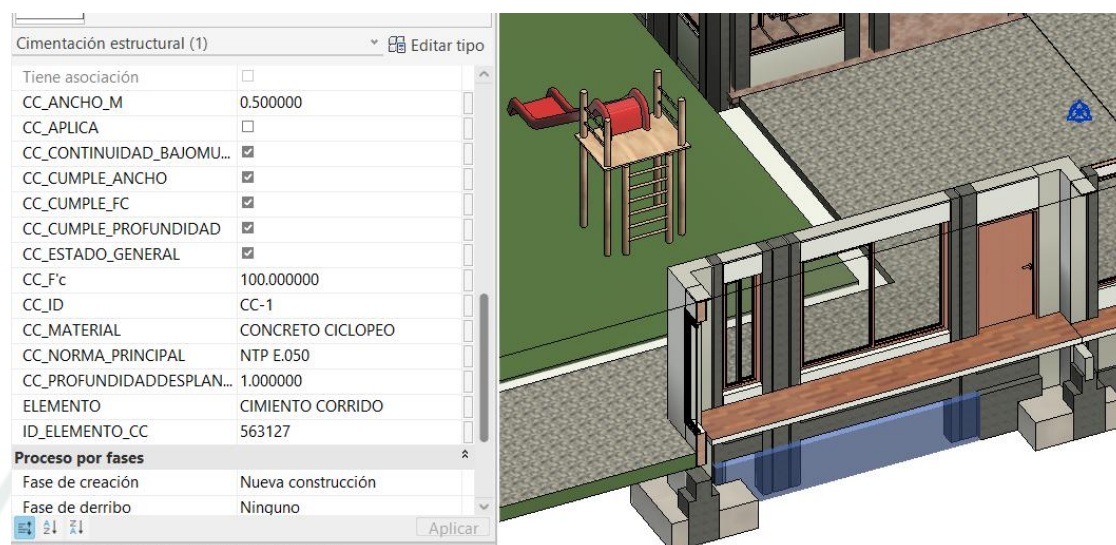
Parámetros compartidos asignados a un tipo de columna



Nota: Tomado del modelo en Revit.

Figura 40

Parámetros compartidos asignados a un tipo de cimiento corrido



Nota: Tomado del modelo en Revit.

Se identificaron también parámetros de carácter descriptivo e informativo que, si bien forman parte del modelo BIM, no intervienen directamente en el proceso de validación automática.

Tabla 33

Parámetros informativos y descriptivos definidos en el modelo BIM

Elemento estructural	Parámetro	Descripción
Columna	COL_ALTURA_M	Altura total de la columna en metros.
Columna	COL_MATERIAL	Material constitutivo del elemento estructural.
Columna	COL_NIVELBASE	Nivel estructural donde inicia la columna.
Columna	COL_NIVELSUPERIOR	Nivel estructural donde finaliza la columna.
Columna	COL_NORMAPRINCIPAL	Norma técnica aplicada al diseño del elemento.

Cimiento Corrido	CC_NORMA_PRINCIPAL	Norma técnica considerada en el diseño del elemento.
Cimiento Corrido	CC_MATERIAL	Material constitutivo del cimiento corrido.
Muro Portante	MP_ALTURA_M	Altura total del muro en metros.
Muro Portante	MP_MATERIAL	Material constitutivo del muro portante.
Muro Portante	MP_NIVELBASE	Nivel estructural donde inicia el muro.
Muro Portante	MP_NIVELSUPERIOR	Nivel estructural hasta donde se extiende el muro.
Muro Portante	MP_NORMA_PRINCIPAL	Norma técnica de referencia aplicada al elemento.

Nota: Parámetros de soporte informativo y documental.

Los parámetros descritos permiten sistematizar la información del modelo BIM, garantizando coherencia en la identificación y documentación de los elementos estructurales. No obstante, el proceso de razonamiento semántico y validación normativa se ejecuta exclusivamente sobre los parámetros definidos para verificación técnica, diferenciando claramente entre información descriptiva y reglas de control estructural dentro del sistema propuesto.

Esta diferencia permite optimizar el análisis, enfocando la validación en aquellos atributos que poseen criterios normativos o condiciones geométricas verificables.

En las siguientes tablas se muestra un resumen de los parámetros que serán validados o que son necesarios directamente para la validación por cada elemento estructural analizado.

Tabla 34*Estructura de parámetros utilizados en la validación columnas*

Parámetro	Categoría Semántica	Tipo de Dato (Revit)	Función en la Validación
ELEMENTO	Clasificación	Texto	Identifica el tipo estructural dentro del modelo BIM.
COL_ID	Identificación	Texto	Identificador interno de la columna para trazabilidad.
ID_ELEMENTO_COL	Identificación	Texto / Número	Código único utilizado por el script para control individual.
COL_ANCHO_M	Técnico	Longitud (Numérico)	Se compara con el ancho mínimo exigido por la norma.
COL_PERALTE_M	Técnico	Longitud (Numérico)	Complementa la validación geométrica de la sección transversal.
COL_F'c	Técnico	Número (Resistencia)	Se compara con la resistencia mínima exigida por la normativa.
COL_CUMPLE_ANCHO	Normativo	Booleano (Sí/No)	Indica si el ancho cumple con el mínimo reglamentario.
COL_CUMPLE_FC	Normativo	Booleano (Sí/No)	Determina si la resistencia del concreto cumple la norma.
COL_CUMPLE_PERALTE	Normativo	Booleano (Sí/No)	Verifica si la profundidad o empotramiento cumple exigencia normativa.
COL_SEAPOYAEN CIMENTACION	Funcional	Texto	Verifica que la columna se apoye correctamente sobre cimentación.

Nota: Parámetros para la validación de columnas creados en Revit.

Tabla 35*Estructura de parámetros utilizados en la validación cimiento corrido*

Parámetro	Categoría Semántica	Tipo de Dato (Revit)	Función en la Validación
ID_ELEMENTO _CC	Identificación	Texto / Número	Código único utilizado por el script para control individual de cada tramo de cimentación corrida.
CC_ID	Identificación	Texto	Identificador interno para trazabilidad dentro del modelo BIM.
ELEMENTO	Clasificación	Texto	Define el tipo estructural del elemento dentro del sistema constructivo.
CC_ANCHO_M	Técnico	Longitud (Numérico)	Se compara con el ancho mínimo exigido por la normativa estructural.
CC_PROFUNDI DADD ESPLANTE	Técnico	Longitud (Numérico)	Permite verificar la profundidad mínima de desplante requerida por norma.
CC_F'c	Técnico	Número (Resistencia)	Se compara con la resistencia mínima del concreto exigida por reglamento.
CC_CONTINUI DAD_ BAJOMURO	Funcional	Booleano / Texto	Verifica que la cimentación sea continua bajo muros portantes.
CC_CUMPLE_A NCHO	Normativo	Booleano (Sí/No)	Resultado de validación automática del ancho mínimo reglamentario.
CC_CUMPLE_ PROFUNDIDAD	Normativo	Booleano (Sí/No)	Indica si la profundidad de desplante cumple exigencia normativa.
CC_CUMPLE_F C	Normativo	Booleano (Sí/No)	Determina si la resistencia del concreto cumple con la norma aplicada.

Nota: Parámetros para la validación de cimientos corridos creados en Revit.

Tabla 36*Estructura de parámetros utilizados en la validación muros portantes*

Parámetro	Categoría Semántica	Tipo de Dato (Revit)	Función en la Validación
ID_ELEMENTO_MP	Identificación	Texto / Número	Código único utilizado por el script para control individual del muro portante.
ELEMENTO	Clasificación	Texto	Define el tipo estructural del elemento dentro del sistema constructivo.
MP_ID	Identificación	Texto	Identificador interno del muro para trazabilidad dentro del modelo.
MP_LONGITUD_M	Técnico	Longitud (Numérico)	Se compara con la longitud mínima exigida para garantizar estabilidad estructural.
MP_CUMPLE_LONGITUD	Normativo	Booleano (Sí/No)	Indica si la longitud del muro cumple con el mínimo normativo.
MP_NO_INTERFER_COLUMNA	Control / Diagnóstico	Booleano (Sí/No)	Detecta interferencia normativa o conflicto estructural con columnas.

Nota: Parámetros para la validación de muros portantes creados en Revit.

A todos los elementos se les asignó un parámetro adicional sobre el estado general de cumplimiento que permitirá posteriormente una evaluación más manejable del sistema.

6.2.2. Extracción y validación automática de parámetros mediante PyRevit

6.2.3. Herramienta PyRevit para la automatización

Para la implementación del módulo de validación automatizada se empleó la plataforma PyRevit, una extensión de Autodesk Revit que permite desarrollar herramientas personalizadas mediante el lenguaje IronPython, una implementación del lenguaje Python compatible con entorno .NET, lo que permite interactuar directamente con la API de Revit.

La API de Revit proporciona acceso programático a los elementos del modelo BIM, permitiendo consultar, modificar y analizar parámetros geométricos y técnicos de los objetos estructurales.

A través de PyRevit se desarrollan scripts personalizados capaces de interactuar directamente con el modelo BIM, facilitando la lectura de parámetros definidos en los elementos estructurales y la evaluación automática de dichos valores comparándolos con las reglas y criterios normativos previamente definidos. De esta manera, se automatiza el proceso de análisis y validación normativa directamente sobre el entorno digital del proyecto.

6.2.4. Arquitectura del módulo desarrollado

El módulo de validación automatizada desarrollado en PyRevit fue diseñado bajo una arquitectura modular orientada a la verificación sistemática de elementos estructurales dentro del modelo BIM. Esta arquitectura permite separar el proceso de análisis técnico del proceso de visualización, garantizando mayor claridad operativa y trazabilidad de resultados.

El sistema se compone de dos scripts principales interrelacionados:

- a) Script de verificación técnica (“Check Elements”)
- b) Script de visualización gráfica (“ViewCheck”)

Ambos módulos interactúan directamente con el modelo BIM mediante la API de Revit, permitiendo la extracción de información paramétrica, su evaluación conforma a reglas normativas previamente definidas y la representación visual inmediata de los resultados obtenidos.

- Componente 1: Script de verificación técnica

El primer componente corresponde al script de verificación técnica, cuya función principal es analizar los elementos estructurales del modelo (cimiento corrido, columnas y muros portantes) mediante la lectura automatizada de parámetros previamente definidos.

Para ello, el sistema emplea mecanismos de filtrado por categoría estructural utilizando la clase `FilteredElementCollector` de la API de Revit, lo que permite identificar únicamente los elementos relevantes para el análisis.

Posteriormente, el script evalúa los parámetros asociados a cada elemento, diferenciando entre parámetros descriptivos y parámetros de validación normativa. A partir de esta evaluación, se asigna un valor booleano (verdadero / falso) al parámetro general de cumplimiento estructural (por ejemplo, `CC_ESTADO_GENERAL`, `COL_ESTADO_GENERAL` y `MP_ESTADO_GENERAL`), el cual sintetiza el resultado del análisis individual.

- Componente 2: Script de visualización automática

El segundo componente del módulo corresponde al sistema de visualización automatizada. Este script genera de manera automática una vista tridimensional específica denominada “`REVISIÓN_ELEMENTOS`”, en la cual se aplican configuraciones gráficas diferenciadas según el estado de cumplimiento de cada elemento estructural.

Mediante el uso de la clase `OverrideGraphicSettings`, la cual permite modificar temporalmente la apariencia visual de los elementos dentro de una vista específica, sin alterar sus propiedades originales, se asignan colores de representación que permiten identificar visualmente el resultado de la validación:

- Color verde: elemento que cumple los criterios establecidos.
- Color rojo: elemento que no cumple con los criterios normativos o presenta inconsistencias.

Este mecanismo de visualización inmediata facilita la interpretación rápida del estado estructural del modelo, reduciendo la necesidad de revisión manual y minimizando posibles errores humanos.

- Integración funcional del módulo

La interacción entre ambos scripts permite establecer un flujo de trabajo automatizado: primero se ejecuta la validación técnica, que asigna los valores booleanos correspondientes; posteriormente, el módulo de visualización interpreta dichos valores y genera una representación gráfica coherente dentro del entorno BIM.

Esta arquitectura modular favorece la estabilidad del sistema, permitiendo la incorporación futura de nuevas reglas normativas o la integración con sistemas externos de trazabilidad digital, como plataformas basadas en tecnología blockchain.

Figura 41

Arquitectura funcional del módulo de validación automatizada desarrollado en PyRevit



Nota: Esquema de flujo.

6.2.5. Proceso de extracción de elementos estructurales

Una vez definida la arquitectura general del módulo de validación automatizada, se implementó el proceso de extracción de elementos estructurales del modelo BIM.

Este proceso constituye la etapa inicial del análisis, ya que permite identificar de manera precisa los objetos que serán sometidos a evaluación normativa.

La extracción se realizó mediante mecanismos de filtrado programático proporcionados por la API de Revit, los cuales permiten acceder únicamente a elementos pertenecientes a categorías estructurales específicas dentro del modelo digital. En el presente estudio, se consideraron tres tipos de elementos principales: cimientos corridos, columnas estructurales y muros portantes.

El filtrado por categoría garantiza que el sistema excluya automáticamente elementos arquitectónicos o constructivos que no formen parte del sistema estructural, optimizando el rendimiento del script y evitando evaluaciones innecesarias.

Adicionalmente, para el caso de los muros, se empleó un criterio de clasificación complementario mediante el uso de parámetros previamente definidos en la etapa de modelamiento. Esto permitió diferenciar los muros portantes de aquellos con función únicamente arquitectónica, asegurando que la validación de continuidad estructural se aplicará exclusivamente a los elementos relevantes.

Figura 42

Estructuración paramétrica de columnas estructurales para el proceso de validación automatizada

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
COL_ESTADO_GEN	ELEMENTO	COL_ANCHO_M	COL_Fc	COL_ID	COL_SECCION	COL_NORMA_PRINCIPAL	ID_ELEMENTO_COL	COL_SEAPOYAEN_CIMENTA	COL_PERALTE_M
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	178741	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182260	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182270	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182282	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182292	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182302	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182316	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182368	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182382	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182394	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182404	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182416	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182436	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182461	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182475	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182485	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182497	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182507	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182529	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182557	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182567	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182581	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182595	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.6	210	C-1	L	NTP E.060	182605	✓	0.6
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.4	210	C-3	RECTANGULAR	NTP E.060	182802	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.4	210	C-3	RECTANGULAR	NTP E.060	183857	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	208627	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211551	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211736	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211746	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211756	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211780	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211792	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211802	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211814	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211824	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211838	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211850	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211872	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211884	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211896	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211908	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211918	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211930	✓	0.25
✓	COLUMNA ESTRUCTURAL	0.25	210	C-3	CUADRADA	NTP E.060	211940	✓	0.25

Nota: La tabla completa generada a partir del modelo BIM se presenta en el apartado de anexos para fines de trazabilidad y verificación. tomado del modelo de Revit.

Figura 43

Estructuración paramétrica de cimientos corridos para el proceso de validación automatizada

<Tabla de planificación de cimentación estructural>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
ELEMENTO	CC_ANCHO_M	CC_CONTINUIDAD_BAJ	CC_ESTADO_GEN	CC_Fc	CC_ID	CC_NORMA_PRINCIPAL	CC_PROFUNDIDADES	ID_ELEMENTO_CC
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	184805
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	184836
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-3	NTP E.050	1	188209
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	423085
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	562648
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	562711
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	562796
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	562930
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	563011
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	563094
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	563127
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	563190
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	563250
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	563334
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	563391
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☐	☐	100	CC-2	NTP E.050	1	563469
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	563535
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	563576
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	563661
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	563709
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	563758
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	563821
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☐	☐	100	CC-2	NTP E.050	1	563870
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☐	☐	100	CC-2	NTP E.050	1	563918
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-3	NTP E.050	1	564045
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	564092
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	564154
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	564220
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	564284
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☐	☐	100	CC-2	NTP E.050	1	564352
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	564401
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-3	NTP E.050	1	564454
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	564487
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	564553
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	564581
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	564641
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	564688
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	564753
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☐	☐	100	CC-1	NTP E.050	1	564819
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	564860
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☐	☐	100	CC-1	NTP E.050	1	564904
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	564963
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☐	☐	100	CC-1	NTP E.050	1	564997
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-1	NTP E.050	1	565043
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	565092
CIMIENTO CORRIDO	0.5	☑	☑	100	CC-2	NTP E.050	1	565138

Nota: La tabla completa generada a partir del modelo BIM se presenta en el apartado de anexos para fines de trazabilidad y verificación. tomado del modelo de Revit.

Figura 44

Estructuración paramétrica de muros portantes para el proceso de validación automatizada

<Tabla de planificación de muros 2>						
A	B	C	D	E	F	G
ELEMENTO	MP_LONGITUD_M	MP_ID	ID_ELEMENTO_MP	MP_ESTADO_GEN	MP_INTERFIERE_C	MP_NORMA_PRINC
MURO PORTANTE2	2.25	M-2	268359	✓	✓	NTP E.060
MURO PORTANTE2	1.27	M-1	269304	✓	✓	NTP E.060
MURO PORTANTE2	1.25	M-3	272747	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.25	M-4	272818	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.95	M-5	272968	✓	✓	NTP E.060
MURO PORTANTE2	1.2	M-11	326896	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.2	M-9	327022	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	0.55	M-10	327118	□	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	2.55	M-13	330964	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.15	M-14	331197	□	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.15	M-15	331771	□	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.65	M-16	331916	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.2	M-17	332884	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.7	M-19	333117	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.45	M-22	334494	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.55	M-20	335094	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.35	M-25	335991	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	0.95	M-28	336454	□	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	2.8	M-29	336587	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	0.65	M-30	336657	□	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	2.2	M-26	336734	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.2	M-27	337504	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1	M-31	339552	□	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.8	M-32	341234	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	2.7	M-34	341444	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.9	M-24	341762	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	2.8	M-23	341982	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.9	M-21	344966	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	2.14	M-35	348533	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	2.85	M-33	359510	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.95	M-6	361501	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.95	M-7	362234	□	□	NTP E.070
MURO PORTANTE2	2.85	M-8	362398	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	1.85	M-18	380787	✓	✓	NTP E.070
MURO PORTANTE2	2.13	M-36	617177	✓	✓	NTP E.070

Nota: La tabla completa generada a partir del modelo BIM se presenta en el apartado de anexos para fines de trazabilidad y verificación. tomado del modelo de Revit.

Las tablas anteriores evidencian la correcta estructuración de los parámetros técnicos y funcionales definidos en el modelo BIM. Estos atributos son posteriormente leídos por el script desarrollado en PyRevit, permitiendo ejecutar el proceso automatizado de evaluación normativa mediante reglas paramétricas definidas.

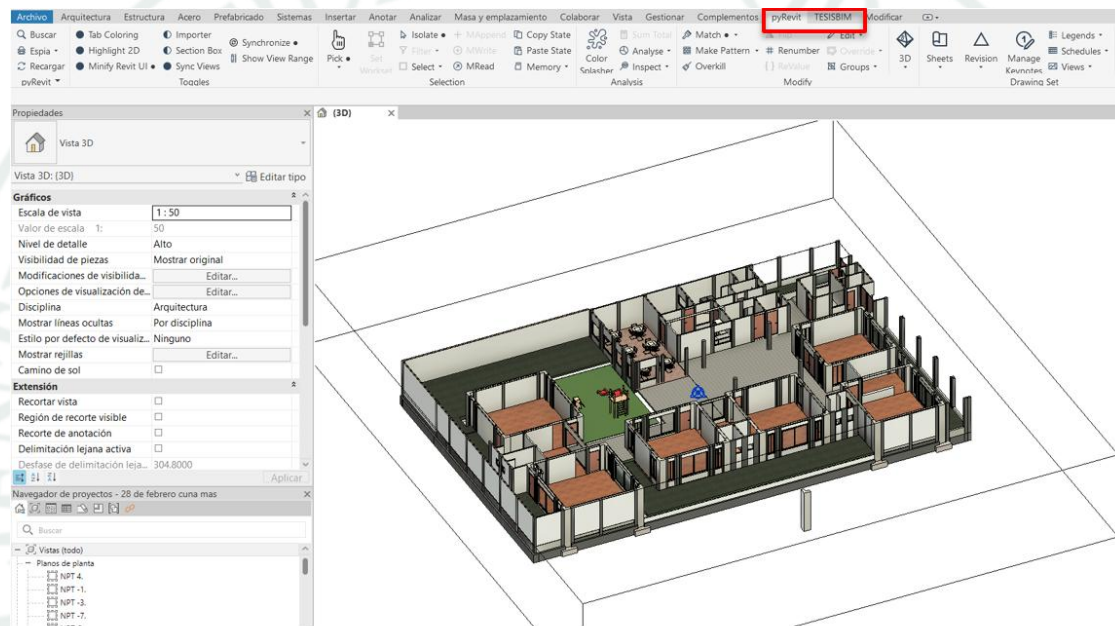
Una vez identificados los elementos estructurales correspondientes, el sistema procede a la lectura automatizada de sus parámetros técnicos y geométricos, los cuales constituyen la base para la posterior evaluación normativa. Este proceso ejecuta directamente sobre el modelo BIM activo, sin necesidad de exportaciones externas, lo que mantiene la coherencia y trazabilidad de la información dentro del entorno digital del proyecto.

6.2.6. Ejecución del script de validación mediante PyRevit

El script de validación fue implementado mediante la extensión PyRevit, permitiendo su integración directa dentro del entorno de Autodesk Revit. Una vez cargada la extensión, el comando desarrollado aparece en la cinta de opciones del software, desde donde el usuario puede ejecutar el proceso de validación automática del modelo.

Figura 45

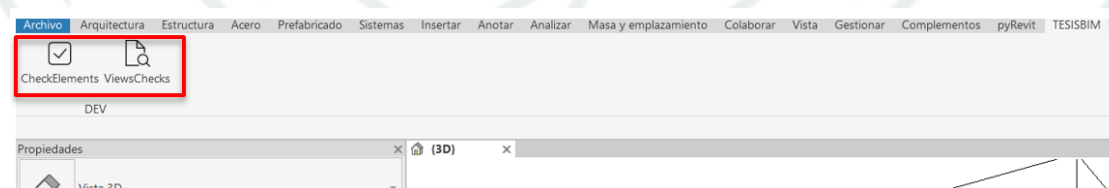
Interfaz de ejecución del script de validación mediante Pyrevit en Autodesk Revit



Nota: Tomado del modelo en Revit.

Figura 46

Script ejecutado para la validación automática



Nota: Tomado del modelo en Revit.

6.2.7. Diagrama de flujo del script de validación

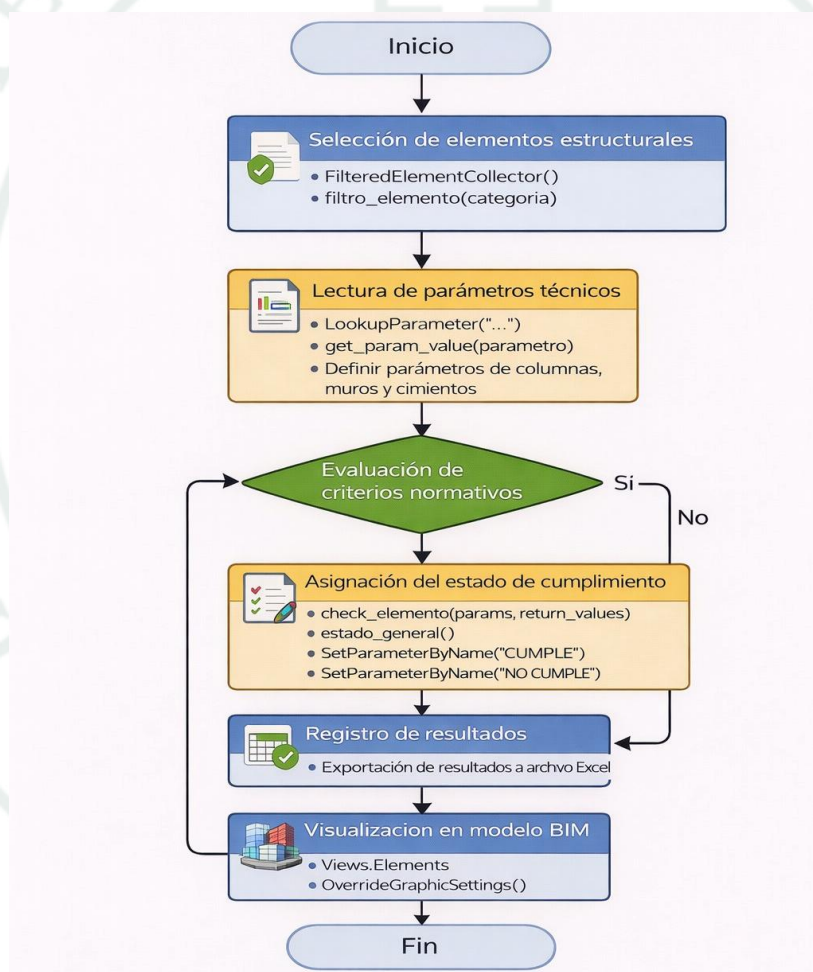
Con el objetivo de presentar de manera general la lógica de funcionamiento del sistema desarrollado, se muestra el diagrama de flujo del script implementado en pyRevit. Este esquema resume las principales etapas del proceso automatizado de validación de elementos estructurales dentro del modelo BIM.

El proceso inicia con la selección y filtrado de elementos estructurales, seguido de la lectura de parámetros técnicos necesarios para la verificación. Posteriormente, el sistema ejecuta las evaluaciones geométricas y normativas definidas para columnas, muros portantes y cimientos corridos.

Finalmente, el script determina el estado de cumplimiento de cada elemento, registra los resultados obtenidos y genera una visualización automática en el modelo BIM, permitiendo identificar gráficamente los elementos que cumplen o presentan incumplimientos.

Figura 47

Diagrama de flujo del proceso de validación estructural implementado en el script de PyRevit



Nota: El diagrama muestra la secuencia general de etapas ejecutadas por el script para la validación automatizada de elementos estructurales dentro del modelo BIM.

6.2.8. Recolección y filtrado de elementos estructurales

El primer paso del módulo consiste en identificar y recolectar los elementos estructurales del modelo mediante el uso de la clase *FilteredElementCollector* de la API de Revit. Esta clase permite realizar consultas estructuradas sobre la base de datos interna del modelo BIM, aplicando filtros por categoría de elemento.

El sistema trabaja con tres categorías estructurales: cimientos corridos (OST_StructuralFoundation), columnas estructurales (OST_StructuralColumns) y muros portantes (OST_Walls).

Para cada categoría se aplica un filtro secundario basado en el parámetro semántico ELEMENTO, el cual identifica el tipo específico dentro de la categoría. Así, se diferencian elementos como “CIMIENTO CORRIDO”, “COLUMNA ESTRUCTURAL”, “MURO PORTANTE2” y “MURO NO PORTANTE”.

Figura 48

Recolección y filtrado programático de elementos estructurales por categoría y parámetro “Elemento”

```
391 ## CIMIENTOS CORRIDOS ##
392 Cimentaciones = (FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralFoundation)
393                 .WhereElementIsNotElementType().ToElements())
394 Cimientos_filtro = [el for el in Cimentaciones if filtro_elementos(el, "CIMIENTO CORRIDO")]
395
396 ### COLUMNAS ###
397 Columnas = (FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralColumns).
398             .WhereElementIsNotElementType().ToElements())
399 Columnas_filtro = [el for el in Columnas if filtro_elementos(el,"COLUMNA ESTRUCTURAL")]
400
401 ## MUROS PORTANTES ##
402 Muros = (FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_Walls).
403          .WhereElementIsNotElementType().ToElements())
404 Muros_todos = list(Muros)
405 Muros_filtro = [el for el in Muros if filtro_elementos(el,"MURO PORTANTE2")]
406 Muros_no_portantes = [el for el in Muros if filtro_elementos(el,"MURO NO PORTANTE")]
```

Nota: Fragmento del script de validación desarrollado mediante PyRevit.

6.2.9. Clasificación de elementos estructurales

El acceso a los parámetros del modelo BIM se realizó mediante el método *LookupParameter* proporcionado por la API de Revit. Este método permite consultar parámetros específicos asociados a cada elemento estructural dentro del modelo.

En el presente desarrollo, el parámetro ELEMENTO fue utilizado para identificar el tipo de elemento estructural (cimiento corrido, columna estructural o muro portante), permitiendo clasificar los elementos antes de aplicar las validaciones correspondientes. La función *filtro_elementos* incorpora una validación de seguridad: si

el elemento no posee el parámetro ELEMENTO, la función retorna False sin generar errores

Figura 49

Función filtro_elemento en el código

```
91 def filtro_elementos(element, palabra):
92     param = element.LookupParameter("ELEMENTO")
93     if param is None:
94         return False
95     valor = param.AsValueString()
96     if valor is None:
97         return False
98     return valor == palabra
```

Nota: Fragmento del script de validación desarrollado mediante PyRevit.

6.2.10. Lectura de parámetros técnicos del modelo BIM

La función get_param_value gestiona la lectura de un parámetro individual considerando los distintos tipos de almacenamiento interno que maneja Revit: texto (StorageType.String), número decimal (StorageType.Double) y número entero (StorageType.Integer). Esto garantiza que el valor sea extraído correctamente sin importar el tipo de dato del parámetro.

Figura 50

Función ger_param_value en el código

```
78 def get_param_value(p):
79
80     if p.StorageType == StorageType.String:
81         return p.AsString()
82     elif p.StorageType == StorageType.Double:
83         return round(p.AsDouble(),4)
84     elif p.StorageType == StorageType.Integer:
85         return p.AsInteger()
86     else:
87         return p.AsValueString()
88
```

Nota: Fragmento del script de validación desarrollado mediante PyRevit.

6.2.11. Registro de valores extraídos

Posteriormente, el script accede a los parámetros técnicos definidos en cada elemento. Estos valores son extraídos automáticamente y almacenados en estructuras de datos para su posterior evaluación normativa.

Figura 51

Función de verificación normativa para cimientos corridos

```
146 def verificar_cimientos(data):
147
148     resultado = {
149         "CC_CUMPLE_ANCHO": [],
150         "CC_CUMPLE_PROFUNDIDAD": [],
151         "CC_CUMPLE_FC": []
152     }
153     n = len(data["CC_ANCHO_M"])
154     for i in range(n):
155         ancho = float(data["CC_ANCHO_M"][i])
156         profundidad = float(data["CC_PROFUNDIDADESPLANTE_M"][i])
157         fc = float(data["CC_F'c"][i])
158         # validaciones
159         resultado["CC_CUMPLE_ANCHO"].append("CUMPLE" if ancho >= 0.50 else "NO CUMPLE")
160         resultado["CC_CUMPLE_PROFUNDIDAD"].append("CUMPLE" if profundidad >= 0.80 else "NO CUMPLE")
161         resultado["CC_CUMPLE_FC"].append("CUMPLE" if fc >= 100 else "NO CUMPLE")
162
```

Nota: Fragmento del script de validación desarrollado mediante PyRevit.

La función evalúa tres criterios independientes para cada cimiento corrido: ancho mínimo de 0.50 m, profundidad de desplante mínima de 0.80 m y resistencia del concreto $f'c \geq 100 \text{ kg/cm}^2$, conforme a los requisitos de la Norma Técnica Peruana E.050 Suelos y Cimentaciones.

Figura 52

Función de verificación normativa para muros portantes

```
187 def verificar_muros(data):
188
189     resultado = {"MP_CUMPLE_LONGITUDMIN": []}
190
191     n = len(data["MP_LONGITUD_M"])
192
193     for i in range(n):
194         longitud = data["MP_LONGITUD_M"][i]
195         if longitud is None:
196             resultado["MP_CUMPLE_LONGITUDMIN"].append("SIN DATO")
197             continue
198         resultado["MP_CUMPLE_LONGITUDMIN"].append("CUMPLE" if float(longitud) >= 1.20 else "NO CUMPLE")
199     return resultado
200
```

Nota: Fragmento del script de validación desarrollado mediante PyRevit.

La función verifica que cada muro portante cumpla la longitud mínima de 1.20 m establecida en la Norma Técnica Peruana E.070 Albañilería. Incluye manejo del caso sin dato asignado para evitar errores durante la evaluación.

Figura 53

Función de verificación normativa para columnas estructurales

```
165 def verificar_columnas(data):
166
167     resultado = {
168         "COL_CUMPLE_ANCHO": [],
169         "COL_CUMPLE_PERALTE": [],
170         "COL_CUMPLE_FC": []
171     }
172
173     n = len(data["COL_ANCHO_M"])
174
175     for i in range(n):
176         ancho = float(data["COL_ANCHO_M"][i])
177         peralte = float(data["COL_PERALTE_M"][i])
178         fc = float(data["COL_F'c"][i])
179         # RL-06
180         resultado["COL_CUMPLE_ANCHO"].append("CUMPLE" if ancho >= 0.25 else "NO CUMPLE" )
181         # RL-07
182         resultado["COL_CUMPLE_PERALTE"].append("CUMPLE" if peralte >= 0.25 else "NO CUMPLE")
183         # RL-05
184         resultado["COL_CUMPLE_FC"].append("CUMPLE" if fc >= 175 else "NO CUMPLE")
185     return resultado
```

Nota: Fragmento del script de validación desarrollado mediante PyRevit.

Se evalúan tres criterios para cada columna estructural: ancho mínimo de 0.25 m, peralte mínimo de 0.25 m y resistencia del concreto $f_c \geq 175$ kg/cm², conforme a los requisitos mínimos de la Norma Técnica Peruana E.060 Concreto Armado para sistemas de albañilería confinada.

6.2.12. Evaluación de relaciones geométricas entre elementos estructurales

Además de la verificación de parámetros normativos, el sistema incorpora funciones destinadas a evaluar relaciones geométricas entre los elementos estructurales del modelo BIM. Estas verificaciones permiten identificar inconsistencias constructivas o configuraciones que podrían afectar al comportamiento estructural del sistema.

Para ello, el script analiza las relaciones espaciales entre cimientos corridos, muros portantes y columnas estructurales, verificando condiciones como la continuidad de cimientos encima de las columnas, colisiones entre muros y columnas, y la continuidad de cimiento sobre muros portantes. Estas comprobaciones se realizan mediante funciones específicas que recorren los elementos del modelo y analizan sus interacciones geométricas.

Este proceso permite complementar la validación normativa con una revisión de coherencia espacial del modelo estructural, fortaleciendo el proceso de control automática de calidad dentro del entorno BIM.

Figura 54

Función de verificación de relación entre columnas y sistema de cimentación

```
226 def verificar_columnas_continuidad_cimiento(columnas, cimientos, tolerancia_z_m=0.30, tolerancia_xy_m=0.10):
227     """
228     Verifica si existe un sistema de cimentación asociado a cada columna.
229     Devuelve diccionario con lista 'CUMPLE' o 'NO CUMPLE'
230     """
231     # Revit usa pies internamente: 1m = 3.28084 ft
232     M_A_PIES = 3.28084
233     tol_z = tolerancia_z_m * M_A_PIES # margen vertical
234     tol_xy = tolerancia_xy_m * M_A_PIES # margen horizontal
235     resultados = []
236     for col in columnas:
237         bb_col = col.get_BoundingBox(None)
238         if not bb_col:
239             resultados.append("NO CUMPLE")
240             continue
241         col_min = bb_col.Min
242         col_max = bb_col.Max
243         encontrado = False
244         for cim in cimientos:
245             bb_cim = cim.get_BoundingBox(None)
246             if not bb_cim:
247                 continue
248             cim_min = bb_cim.Min
249             cim_max = bb_cim.Max
250
251             # El cimiento debe estar debajo o al mismo nivel que la base de la columna
252             # (permitiendo tol_z hacia arriba por si hay pequeño desfase)
253             if not (cim_min.Z - tol_z <= col_min.Z <= cim_max.Z + tol_z):
254                 continue
255             # Intersección en planta XY con tolerancia
256             interseccion_x = not (cim_max.X < col_min.X - tol_xy or cim_min.X > col_max.X + tol_xy)
257             interseccion_y = not (cim_max.Y < col_min.Y - tol_xy or cim_min.Y > col_max.Y + tol_xy)
258
259             if interseccion_x and interseccion_y:
260                 encontrado = True
261                 break
262         resultados.append("CUMPLE" if encontrado else "NO CUMPLE")
```

Nota: Fragmento del script de validación desarrollado mediante PyRevit.

Figura 55

Función de detección de interferencias entre muros portantes y columnas

```
266 def verificar_colision_muros_columnas(muros, columnas):
267     """
268     Verifica colisiones reales entre muros y columnas usando intersección geométrica.
269     Retorna MURO_COLISIONA_COLUMNA = CUMPLE / NO CUMPLE
270     """
271     resultados = []
272     opt = Options()
273     opt.ComputeReferences = True
274     opt.IncludeNonVisibleObjects = True
275     for muro in muros:
276         geom_muro = muro.get_Geometry(opt)
277         solidos_muro = [g for g in geom_muro if isinstance(g, Solid) and g.Volume > 0]
278         if not solidos_muro:
279             resultados.append("SIN DATO")
280             continue
281         colision = False
282
283         for col in columnas:
284             geom_col = col.get_Geometry(opt)
285             solidos_col = [g for g in geom_col if isinstance(g, Solid) and g.Volume > 0]
286
287             if not solidos_col:
288                 continue
289             #Intersección real entre sólidos
290             for sm in solidos_muro:
291                 for sc in solidos_col:
292                     try:
293                         inter = BooleanOperationsUtils.ExecuteBooleanOperation(
294                             sm, sc, BooleanOperationsType.Intersect)
295                         if inter and inter.Volume > 1e-6:
296                             colision = True
297                             break
298                     except:
299                         pass
300             if colision:
301                 break
302
303     resultados.append("NO CUMPLE" if colision else "CUMPLE")
```

Nota: Fragmento del script de validación desarrollado mediante PyRevit.

Figura 56

Función de verificación de relaciones entre cimientos corridos y muros portantes

```
306 def verificar_cimiento_tiene_muro_vertical(  
307     cimientos,  
308     muros_portantes,  
309     muros_no_portantes,  
310     tol_xy=0.10,  
311     tol_z=0.25):  
312  
313     M_A_PIES = 3.28084  
314     tol_xy_ft = tol_xy * M_A_PIES  
315     tol_z_ft = tol_z * M_A_PIES  
316  
317     resultados = []  
318  
319     for cim in cimientos:  
320  
321         bb_c = cim.get_BoundingBox(None)  
322         if not bb_c:  
323             resultados.append("SIN DATO")  
324             continue  
325  
326         c_min = bb_c.Min  
327         c_max = bb_c.Max  
328  
329         tiene_portante = False  
330  
331         # Buscar muros PORTANTES  
332         for muro in muros_portantes:  
333             bb_m = muro.get_BoundingBox(None)  
334             if not bb_m:  
335                 continue  
336  
337             m_min = bb_m.Min  
338             m_max = bb_m.Max  
339  
340             # verificar altura coherente  
341             if m_min.Z < c_max.Z - tol_z_ft: # el muro empieza muy por debajo del tope del cimiento  
342                 continue  
343             # verificar solape XY  
344             interseccion_x = not (m_max.X < c_min.X - tol_xy_ft or m_min.X > c_max.X + tol_xy_ft)  
345             interseccion_y = not (m_max.Y < c_min.Y - tol_xy_ft or m_min.Y > c_max.Y + tol_xy_ft)  
346  
347             if interseccion_x and interseccion_y:  
348                 tiene_portante = True  
349                 break  
350         if tiene_portante:  
351             resultados.append("CUMPLE")  
352             continue  
353         # Si no hay portante, buscar NO PORTANTE  
354         tiene_no_portante = False  
355  
356         for muro in muros_no_portantes:  
357             bb_m = muro.get_BoundingBox(None)  
358             if not bb_m:  
359                 continue  
360             m_min = bb_m.Min  
361             m_max = bb_m.Max  
362  
363             if m_min.Z < c_max.Z - tol_z_ft: # el muro empieza muy por debajo del tope del cimiento  
364                 continue  
365             if m_min.Z > c_max.Z + tol_z_ft: # el muro empieza muy por encima del tope del cimiento  
366                 continue  
367  
368             interseccion_x = not (m_max.X < c_min.X - tol_xy_ft or m_min.X > c_max.X + tol_xy_ft)  
369             interseccion_y = not (m_max.Y < c_min.Y - tol_xy_ft or m_min.Y > c_max.Y + tol_xy_ft)  
370  
371             if interseccion_x and interseccion_y:  
372                 tiene_no_portante = True  
373                 break  
374         if tiene_no_portante:  
375             resultados.append("NO APLICA")  
376         else:  
377             resultados.append("NO CUMPLE")  
378  
379     return {"CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS": resultados}
```

Nota: Fragmento del script de validación desarrollado mediante PyRevit.

6.2.13. Asignación automática del estado de cumplimiento

Tras la aplicación de las funciones de verificación normativa, el sistema determina automáticamente el estado de cumplimiento de cada elemento estructural evaluado. Este proceso se realiza mediante estructuras de datos donde se registran los resultados obtenidos para cada criterio técnico analizado.

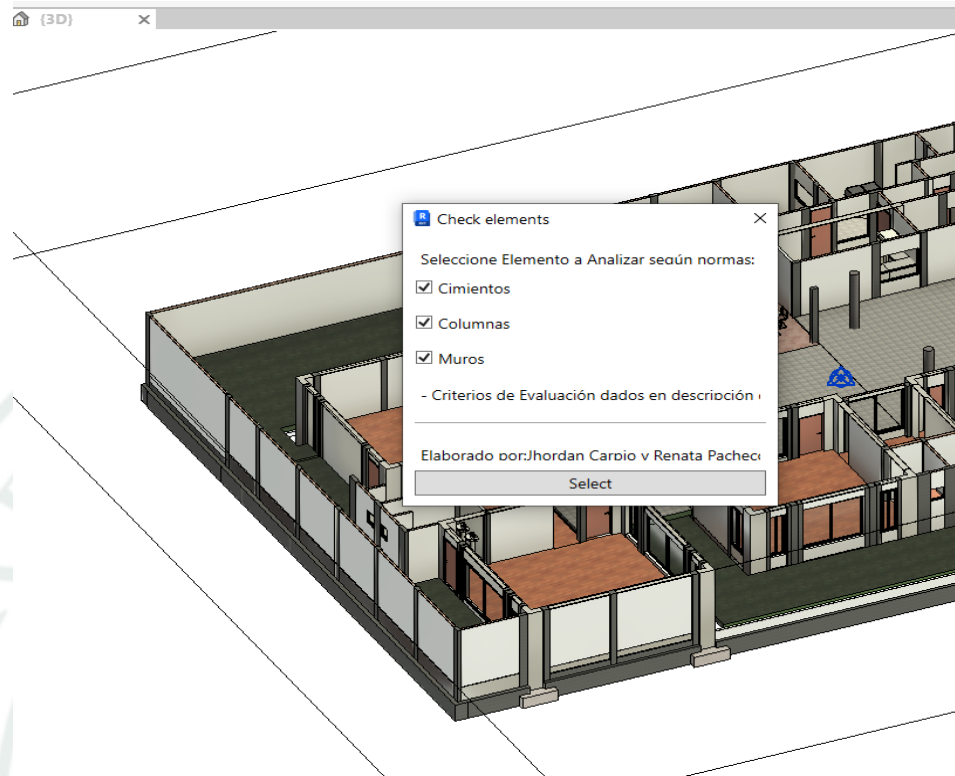
Por cada elemento estructural, el script compara los valores extraídos del modelo BIM con los límites establecidos por la normativa correspondiente. En función de esta comparación, se asigna un estado de evaluación que puede corresponder a “CUMPLE”, cuando el parámetro satisface los requisitos normativos, o “NO CUMPLE”, cuando el valor se encuentra fuera de los rangos establecidos.

El proceso de validación puede ejecutarse directamente desde el entorno de Autodesk Revit mediante la extensión PyRevit anteriormente indicada, seleccionado la opción “Check Elements”. A través de esta integración, el usuario puede iniciar el proceso de validación seleccionando los elementos estructurales que serán evaluados dentro del modelo BIM.

Previamente a la generación de revisión de elementos, el sistema permite seleccionar las categorías estructurales que se desean revisar dentro del modelo BIM.

Figura 57

Inicio de la ejecución del script de validación estructural en Revit

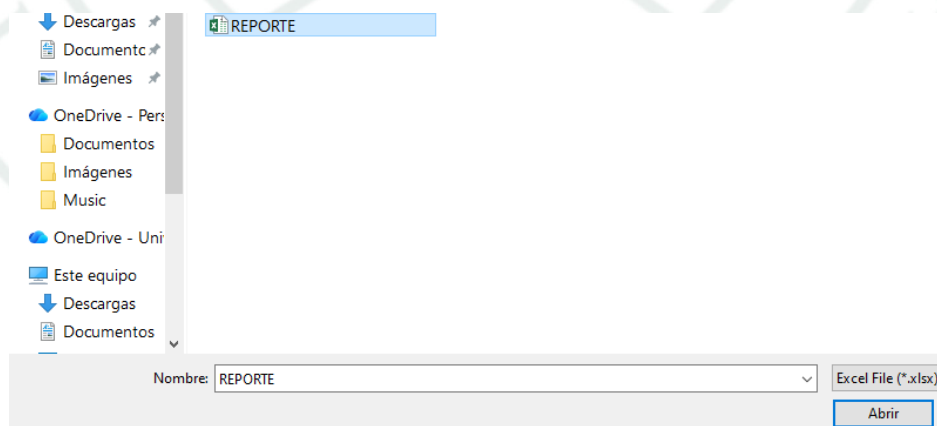


Nota: Ejecución del script de validación estructural mediante la extensión PyRevit dentro del entorno de Autodesk Revit. tomado del modelo en Revit.

Luego de seleccionar las categorías estructurales a revisar, el sistema necesita almacenar los datos en un archivo de Excel.

Figura 58

Generación automática del archivo de resultados de validación



Nota: Generación automática del archivo de resultados de validación estructural en formato Excel.

Durante la ejecución del script, el sistema procesa los elementos seleccionados, evalúa los parámetros técnicos definidos y asigna automáticamente el estado de cumplimiento correspondiente a cada criterio analizado. Este proceso se realiza de manera automatizada, permitiendo generar los resultados de validación sin intervención manual en el análisis de los parámetros estructurales. De esta manera, el sistema transforma los datos técnicos del modelo en información interpretada, permitiendo identificar de forma inmediata los elementos que cumplen o no con las condiciones normativas.

6.2.14. Registro tabular de resultados

Una vez finalizado el proceso de validación de los elementos estructurales, el sistema organiza automáticamente los resultados obtenidos en una estructura tabular que permite visualizar de manera clara el estado de cumplimiento de cada criterio evaluado.

Esta organización de la información facilita la interpretación de los resultados, ya que cada fila corresponde a un elemento estructural analizado y cada columna representa un criterio técnico evaluado, tales como dimensiones mínimas, resistencia del material o condiciones geométricas del modelo.

El registro tabular generado permite identificar de forma inmediata los elementos que cumplen o no con las condiciones establecidas por la normativa estructural. Asimismo, esta estructura de datos constituye la base para el almacenamiento y posterior procesamiento de los resultados, permitiendo su integración con otros sistemas de análisis o registro de información.

- Cimientos corridos

En algunos registros correspondientes a cimientos corridos se observa la asignación del estado “NO APLICA” en determinados criterios de evaluación. Este resultado se presenta cuando en el caso del criterio de continuidad bajo muro no corresponde al tipo de condición estructural que posee el elemento evaluado. Es decir, la verificación solo se realiza cuando existe un muro portante asociado al cimiento corrido. Cuando dicha condición no se cumple por tener un muro no portante asociado, el sistema asigna automáticamente el valor “NO APLICA”, indicando que el criterio no es pertinente para ese elemento en particular.

Este mecanismo permite evitar evaluaciones incorrectas y garantiza que cada elemento estructural sea analizado únicamente bajo los criterios que le corresponden según su configuración dentro del modelo BIM.

Con el fin de facilitar la lectura e interpretación de los resultados, en la siguiente tabla se presenta un extracto de los registros generados por el sistema de validación, mostrando únicamente los casos en los que se aplican los criterios evaluados. Aquellos registros en los que determinados criterios no corresponden al elemento estructural evaluado aparecen como “NO APLICA”, por lo que no se incluyen en esta visualización filtrada.

La tabla completa de resultados generada por el sistema, incluyendo todos los registros evaluados, se presenta en el apartado de anexos del presente documento.

Figura 59

Tabla de resultados para cimientos corridos generada por el sistema de validación estructural

CIMENTOS										
ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	F'c (kg/cm ²)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PROFUNDIDAD	CUMPLE F'c	CUMPLE CONTINUIDAD BAJO MUROS	CUMPLE ESTADO GENERAL
CIMENTO CORRIDO	CC-1	562711	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	563011	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	563334	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	563391	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-2	563469	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-2	563670	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-2	563916	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-2	564382	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	564819	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	564904	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	564987	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	565729	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	566035	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-2	566193	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	566280	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	566304	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	566352	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	566384	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	566537	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	566679	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-2	566785	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	566858	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-3	567166	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-3	567357	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-3	567422	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	567605	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	567639	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-2	567673	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	567756	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-1	567940	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMENTO CORRIDO	CC-2	567973	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

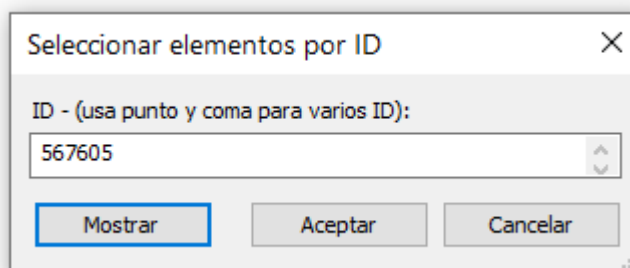
Nota: Registro tabular de los resultados de validación estructural generado automáticamente por el sistema a partir de la evaluación de los elementos del modelo BIM generado en Excel.

Con el fin de ilustrar la interpretación de los resultados generados por el sistema, se presenta un ejemplo de un elemento estructural identificado como “NO CUMPLE” (fila resaltada en la figura) durante el proceso de validación.

En el caso mostrado, el sistema detectó una inconsistencia en un cimiento correspondiente al código CC-2 con ID: 567605, relacionado con la continuidad estructural bajo muro. A partir del identificador del elemento, es posible localizar directamente dicho componente dentro del modelo BIM en Autodesk Revit, permitiendo analizar su ubicación y condición dentro del sistema estructural.

Figura 60

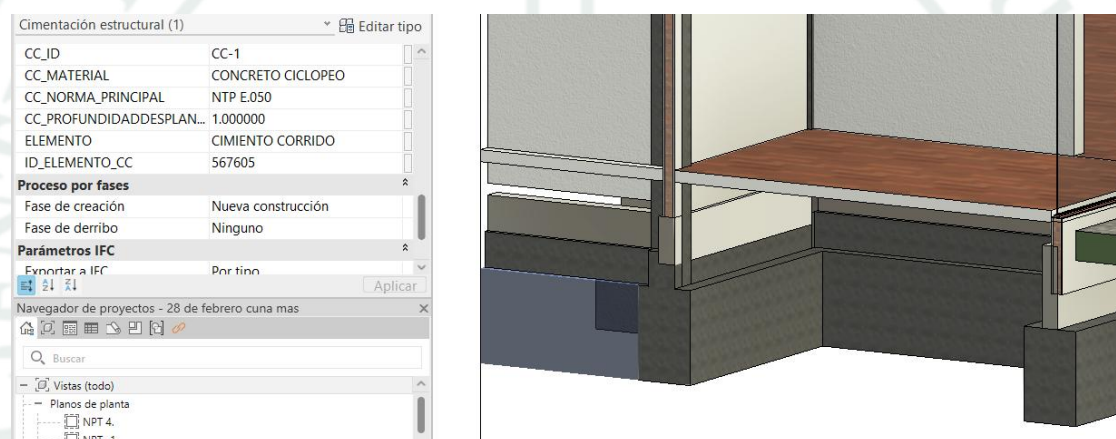
Ventana de "Selección por ID" de Revit



Nota: tomado del modelo en Revit.

Figura 61

Ubicación del cimiento corrido identificado en el modelo BIM



Nota: Localización del elemento estructural identificado durante el proceso de validación automática dentro del modelo BIM en Autodesk Revit. tomado del modelo en Revit.

Se observa que el muro portante que se encuentra encima del cimiento corrido seleccionado no tiene continuidad, por lo tanto, no se apoya sobre el sistema de cimentación que incluye el cimiento corrido, es por esto por lo que el sistema marca “NO CUMPLE”.

- Columnas estructurales

De manera similar al caso de los cimientos corridos, el sistema registra los resultados de validación correspondientes a las columnas estructurales evaluadas dentro del modelo BIM. Para cada columna se analizan distintos criterios normativos relacionados con la geometría de la sección transversal y las propiedades del material estructural.

Los resultados obtenidos se organizan dentro del registro tabular generado por el sistema, permitiendo identificar de forma inmediata si los parámetros evaluados cumplen o no con los requisitos establecidos por la normativa correspondiente

Figura 62

Tabla de resultados para columnas estructurales generada por el sistema de validación estructural

COLUMNAS										
ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PERALTE (m)	F _c (kgf/cm ²)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PERALTE	CUMPLE F _c	CUMPLE APOYO EN CIMENTACIÓN	CUMPLE ESTADO GENERAL
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182529	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182557	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182567	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182581	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182595	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182605	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	209827	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211651	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211736	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211746	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211768	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211780	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211792	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211802	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211814	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211824	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211838	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211850	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211872	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211894	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211896	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211908	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211918	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211930	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211940	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212042	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212052	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212062	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212072	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212088	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212098	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212122	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212391	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212401	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212431	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212473	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212483	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212497	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212511	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212835	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212845	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212855	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

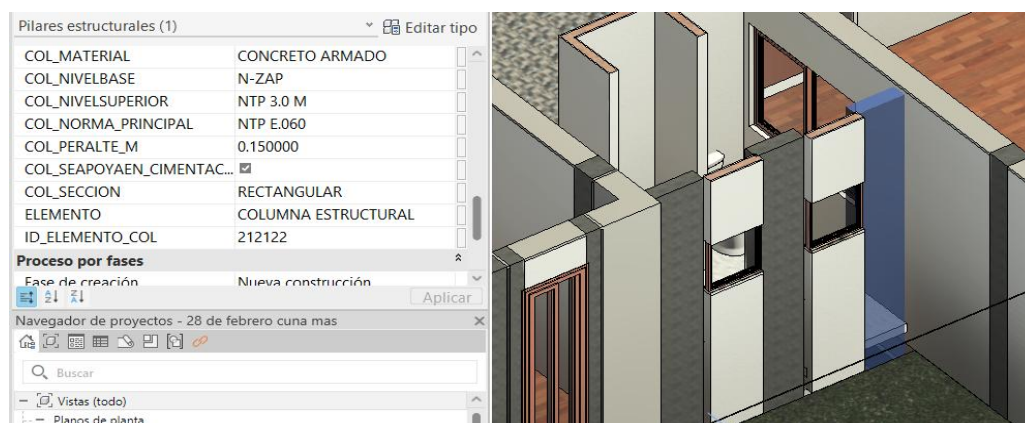
Nota: Registro tabular de los resultados de validación estructural generado automáticamente por el sistema a partir de la evaluación de los elementos del modelo BIM generado en Excel.

Se presenta un ejemplo de un elemento estructural identificado como “NO CUMPLE” (fila resaltada en la figura) durante el proceso de validación.

En el caso mostrado, el sistema detectó una inconsistencia en una columna correspondiente al código C-2 con ID: 212122, relacionado con cumplimiento del peralte. De igual manera que en los cimientos corridos, es posible localizar directamente dicho componente dentro del modelo BIM en Autodesk Revit, permitiendo analizar su ubicación y condición dentro del sistema estructural.

Figura 63

Ubicación de la columna estructural identificada en el modelo BIM



Nota: Localización de una columna estructural evaluada dentro del modelo BIM en Autodesk Revit. tomado del modelo en Revit.

Se observa que el sistema identifica una columna estructural cuyo peralte es 0.15 m, resultando menor al valor mínimo establecido para este tipo de elemento, conforme a los criterios normativos definidos en el proceso de validación. Durante la evaluación automática, el script compara las dimensiones de la sección transversal de la columna con los límites establecidos, determinando que el peralte registrado en el modelo BIM es inferior al mínimo requerido. Como consecuencia, el sistema asigna el estado “NO CUMPLE” para este criterio, registrando el resultado en la tabla de validación y permitiendo localizar el elemento correspondiente dentro del modelo de Revit para su revisión.

- Muros portantes

En el caso de los muros portantes, el sistema evalúa criterios normativos asociados principalmente a la longitud mínima del elemento estructural, conforme a lo establecido en la normativa de diseño para sistemas de albañilería estructural.

Los resultados obtenidos son registrados dentro de la tabla de validación, permitiendo identificar aquellos muros que cumplen con los requisitos mínimos establecidos y aquellos que presentan posibles inconsistencias respecto a los parámetros definidos.

Figura 64

Tabla de resultados para muros portantes generada por el sistema de validación estructural

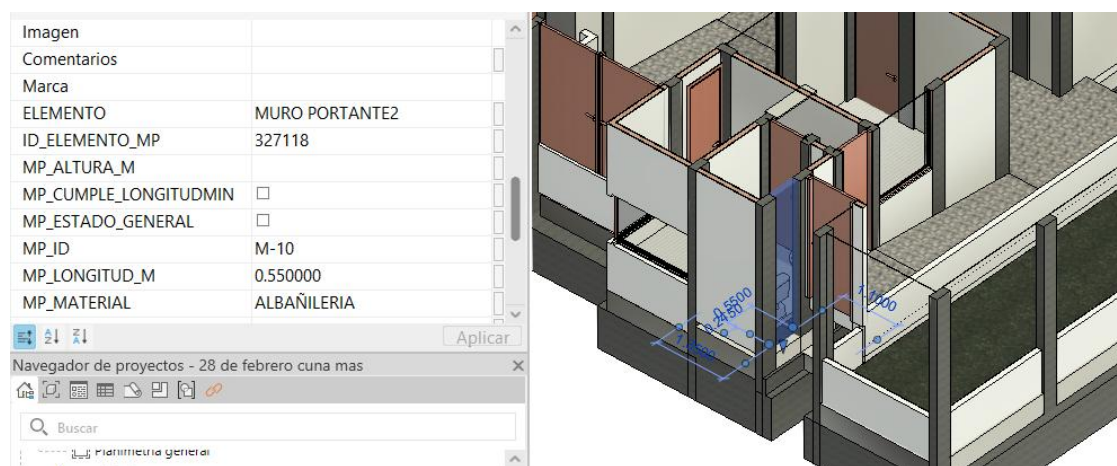
MUROS PORTANTES					
CÓDIGO	ID	LONGITUD	CUMPLE LONGITUD	INTERFIERE CON COLUMNA	CUMPLE ESTADO GENERAL
M-2	268353	2.25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-1	269304	1.27	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-3	272747	1.25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-4	272818	1.25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-5	272968	1.95	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-11	326836	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-9	327022	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-10	327118	0.55	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
M-13	330964	2.55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-14	331197	1.15	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
M-15	331771	1.15	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
M-16	331916	1.65	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-17	332884	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-19	333117	1.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-22	334434	1.45	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-20	335034	1.55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-25	335931	1.35	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-28	336454	0.95	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
M-29	336587	2.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-30	336657	0.65	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
M-26	336734	2.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-27	337504	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-31	339552	1	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
M-32	341234	1.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-34	341444	2.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-24	341762	1.9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-23	341982	2.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-21	344966	1.9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-35	348533	2.14	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-33	359510	2.85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-6	361501	1.95	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-7	362234	1.95	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
M-8	362398	2.85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-18	380787	1.85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
M-36	617177	2.13	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Nota: Registro tabular de los resultados de validación estructural generado automáticamente por el sistema a partir de la evaluación de los elementos del modelo BIM generado en Excel.

En el caso mostrado, el sistema detectó una inconsistencia en un muro portante correspondiente al código M-10 con ID: 327118, relacionado con cumplimiento de la longitud. De igual manera que en los cimientos corridos y columnas estructurales, es posible localizar directamente dicho componente dentro del modelo BIM en Autodesk Revit, permitiendo analizar su ubicación y condición dentro del sistema estructural.

Figura 65

Ubicación del muro portante identificado en el modelo BIM



Nota: Localización de un muro portante evaluado dentro del modelo BIM en Autodesk Revit.

Se observa, que el muro portante localizado tiene una longitud de 0.55 m, la cual no cumple con el mínimo de longitud normativa para un muro portante, es por esto por lo que el sistema marca como “NO CUMPLE”.

6.2.15. Determinación del estado general de cumplimiento

Además de evaluar cada criterio técnico de forma individual, el sistema determina un estado general de cumplimiento para cada elemento estructural analizado. Este indicador sintetiza los resultados obtenidos durante el proceso de validación, permitiendo identificar de manera rápida si el elemento cumple globalmente con los requisitos normativos evaluados.

El estado general se obtiene a partir de la revisión conjunta de los criterios aplicados a cada elemento. En aquellos casos donde todos los parámetros evaluados cumplen con las condiciones establecidas, el sistema asigna el estado “CUMPLE”. Por el contrario, si uno o más criterios presentan incumplimiento, el estado general del elemento se clasifica como “NO CUMPLE”.

Este indicador facilita la interpretación global de los resultados de validación y permite identificar rápidamente los elementos estructurales que requieren revisión dentro del modelo BIM.

Figura 66

Lógica de determinación del estado general de cumplimiento en el sistema de validación

```
447 # ===== ESTADO GENERAL CIMIENTOS =====
448 for i, valores in enumerate(zip(*dataCheck)):
449     estado_general_cc = []
450
451     for valores in zip(*dataCheck):
452         if "NO CUMPLE" in valores:
453             estado_general_cc.append("NO CUMPLE")
454
455         else:
456             estado_general_cc.append("CUMPLE")
```

Nota: Fragmento del script utilizado para determinar el estado general de cumplimiento del elemento estructural cimiento corrido.

La misma lógica de evaluación se aplica en el script para los distintos tipos de elementos estructurales analizados, tales como columnas estructurales y muros portantes.

De esta manera se obtiene el resultado en la tabulación, la columna del cumplimiento del estado general se sitúa en el último lugar como un resumen total de cumplimiento de todos los parámetros del elemento.

Figura 67

Resultado del estado general de cumplimiento registrado en la tabla de validación

CÓDIGO	ID	LONGITUD	CUMPLE LONGITUD	INTERFIERE CON COLUMNA	CUMPLE ESTADO GENERAL
M-10	327118	0.55	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

Nota: Fila generada en Excel que sintetiza el resultado global de los criterios evaluados para cada elemento estructural.

6.2.16. Representación gráfica de resultados en vista 3D

El sistema incorpora una funcionalidad de visualización de elementos estructurales evaluados dentro del modelo BIM, en el script es representado como “Views Check”.

A través de la opción de revisión implementada en el script, es posible generar una vista que permite identificar de manera directa los elementos estructurales evaluados durante el proceso de validación. Esta funcionalidad permite seleccionar y

visualizar los elementos correspondientes dentro del entorno de Autodesk Revit, facilitando su análisis dentro del modelo tridimensional.

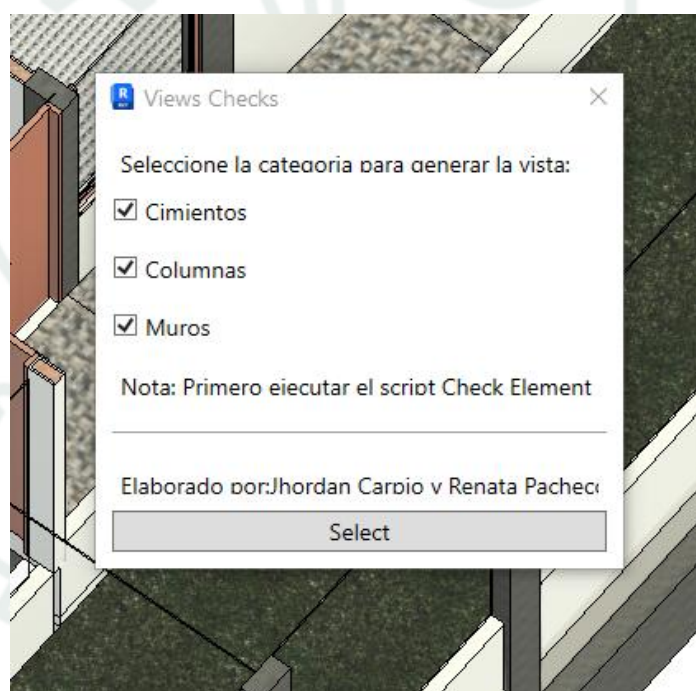
Adicionalmente, el sistema emplea un esquema de representación visual mediante colores, con el objetivo de facilitar la interpretación de resultados obtenidos. De esta manera, los elementos que cumplen con los criterios evaluados se muestran en color verde, mientras que aquellos que presentan incumplimientos se representan en color rojo, permitiendo identificar rápidamente los elementos que requieren revisión dentro del modelo.

Esta funcionalidad permite reducir el tiempo necesario para la localización manual de los elementos dentro del modelo, facilitando el proceso de revisión y análisis de los resultados obtenidos durante la validación automática.

Previamente a la generación de visualización, el sistema permite seleccionar las categorías estructurales que se desean revisar dentro del modelo BIM.

Figura 68

Interfaz de selección de categorías estructurales para la generación de la vista de revisión

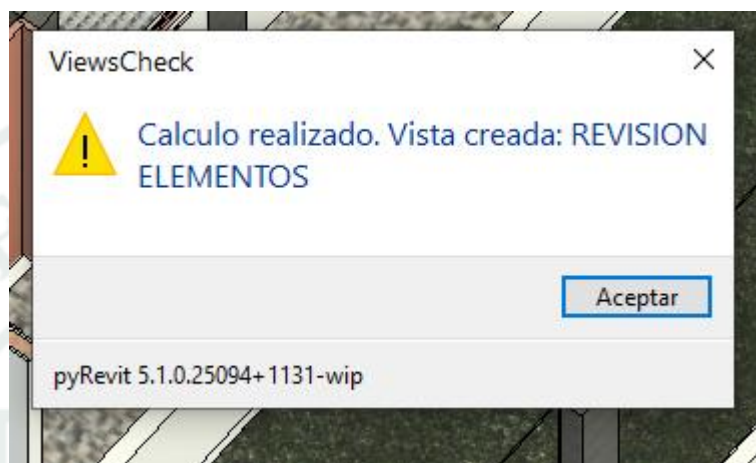


Nota: Ventana del sistema que permite seleccionar las categorías estructurales a visualizar durante el proceso de revisión de resultados dentro del modelo BIM.

El sistema manda un anuncio de que todo está correcto y el cálculo fue realizado y que la vista de “REVISIÓN DE ELEMENTOS” fue creada.

Figura 69

Anuncio de vista de revisión de elementos creada

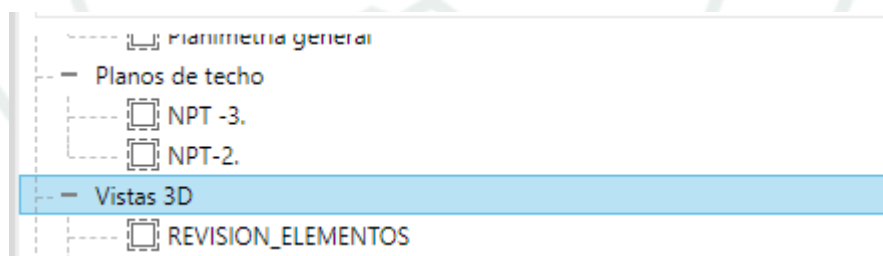


Nota: Anuncio de creación correcta de vista ejecutada por el script y mostrada en entorno Revit.

La vista se busca en el panel de navegador de proyectos de la interfaz de Revit, en la opción “Vistas 3D”.

Figura 70

Vista creada en el panel de navegador de proyectos en Revit

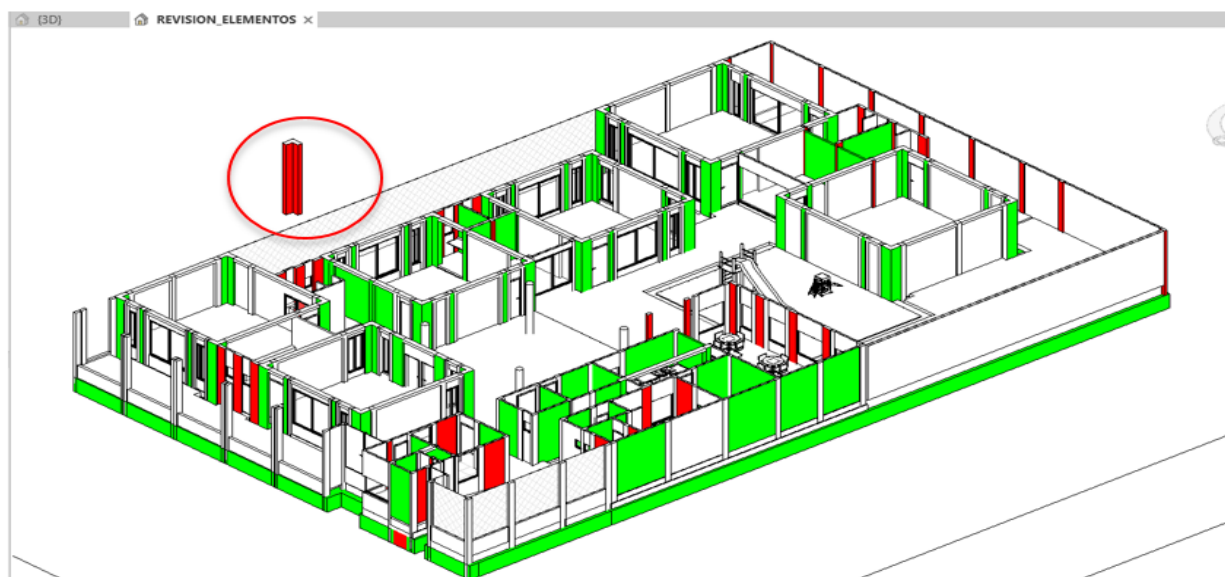


Nota: Vista llamada: REVISION_ELEMENTOS.

Por último, se obtiene la vista que nos muestra de manera instantánea aquellos elementos que cumplen o no cumplen.

Figura 71

Visualización general de resultados de validación estructural en el modelo BIM

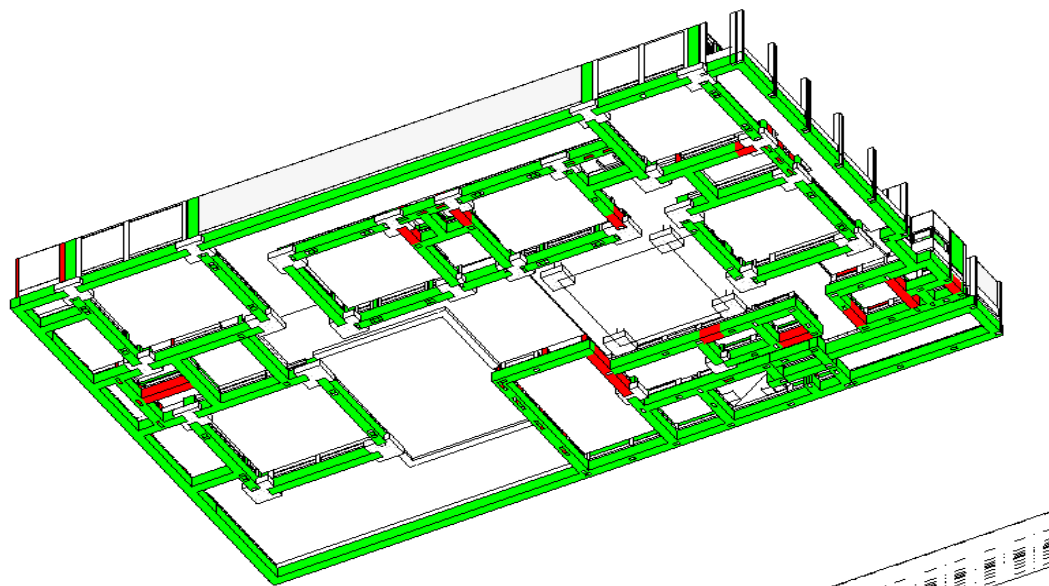


Nota: Representación gráfica de los resultados de validación mediante codificación por colores dentro del modelo BIM.

En la figura también se observa un ejemplo de elemento estructural que presenta una condición inconsistente dentro del modelo, representado mediante una columna sin relación estructural con los elementos de cimentación. Este tipo de situaciones es identificado automáticamente por el sistema, asignando el estado “NO CUMPLE” y representándolo visualmente en color rojo dentro de la vista de revisión.

Figura 72

Visualización de resultados de validación vistos desde la parte inferior



Nota: Detalle de la representación gráfica de resultados de validación.

Esta integración entre la evaluación automática y la visualización en el entorno de modelado facilita el proceso de revisión del proyecto estructural, permitiendo detectar inconsistencias o incumplimientos de manera más rápida y eficiente. A partir de estas funcionalidades, el sistema desarrollado aporta una herramienta de apoyo para el control y verificación de modelos BIM estructurales.

6.3. Generación de resultados de validación en formatos interoperables

Con el objetivo de garantizar la interoperabilidad entre diferentes herramientas digitales y facilitar el posterior análisis de la información, los resultados de validación fueron exportados a un formato estructurado compatible con sistemas de análisis de datos. Para ello, se empleó una estructura de datos organizada que permite almacenar los resultados de manera tabular y legible por diversas plataformas de procesamiento y visualización de información.

Este procedimiento permite que los resultados generados en el entorno BIM, mediante scripts desarrollados en PyRevit, puedan ser transferidos a plataformas externas de análisis sin pérdida de significado semántico. La estructura generada incluye campos como el tipo de elemento estructural evaluado, el identificador del elemento

dentro del modelo, la regla lógica aplicada, el valor normativo esperado y el resultado de cumplimiento obtenido.

6.4. Integración del sistema de registro de resultados basado en tecnología blockchain

6.4.1. *Fundamentación teórica del uso de blockchain en la gestión de validaciones semánticas*

El método de validación semántica implementado en esta investigación permite comprobar el cumplimiento técnico de los parámetros relacionados con los elementos estructurales modelados en un entorno BIM, tales como cimientos corridos, muros de carga y columnas estructurales, que están definidos en la ontología constructiva propuesta. Estas validaciones producen resultados estructurados que sirven como evidencia técnica del cumplimiento normativo y geométrico de cada uno de los elementos. Sin embargo, uno de los retos recurrentes en la gestión digital de la información técnica es la vulnerabilidad ante modificaciones posteriores, la falta de mecanismos sólidos de trazabilidad histórica y la escasa garantía de la integridad de los registros almacenados.

En ambientes colaborativos, la alteración de los resultados de validación podría poner en riesgo la fiabilidad del modelo y afectar los procesos de toma de decisiones. En este sentido, la tecnología Blockchain se presenta como una opción local destinada a asegurar la inmutabilidad, integridad y trazabilidad de los registros digitales. Blockchain se compone de una estructura de datos distribuida formada por bloques enlazados criptográficamente, donde cada bloque contiene información validada y un código hash que lo conecta con el bloque anterior. Esta organización impide la alteración retroactiva de los datos sin modificar toda la cadena. Además, la principal ventaja de Blockchain radica en su capacidad para infundir confianza en entornos digitales a través de mecanismos criptográficos que eliminan la necesidad de intermediarios centrales.

En el contexto de esta investigación, Blockchain no se considera como una red pública descentralizada ni como un sistema vinculado a criptomonedas, sino como una arquitectura de registro seguro aplicada exclusivamente a los resultados derivados del sistema de validación semántica (SemanticBIM). Su objetivo es reforzar el sistema desarrollado añadiendo una capa extra de seguridad digital enfocada en la preservación de la evidencia técnica.

6.4.2. Arquitectura conceptual del sistema integrado SemanticBIM–Blockchain

La arquitectura del sistema propuesto se estructura en dos niveles funcionales:

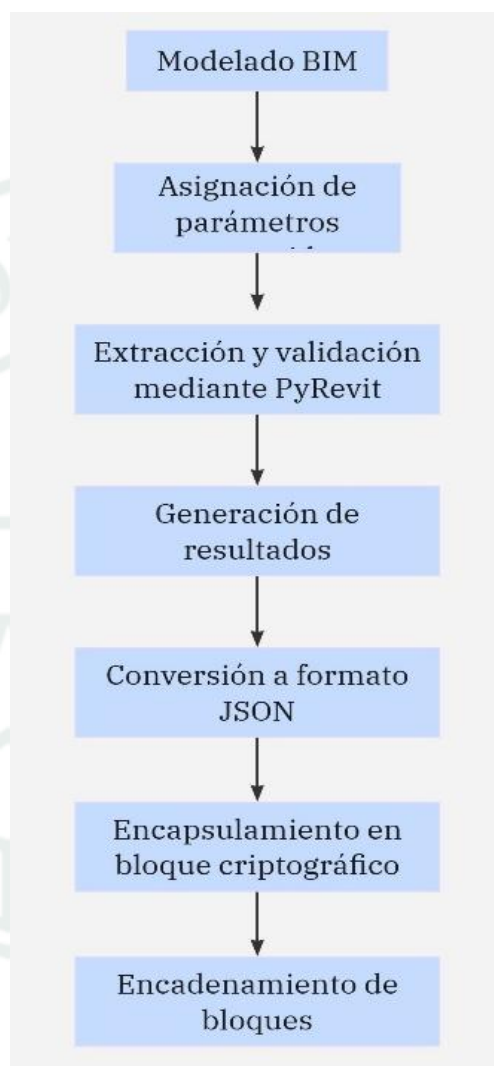
1. Nivel de generación y validación de información.
2. Nivel de registro inmutable de resultados.

En el primer nivel, el modelo BIM creado en Autodesk Revit incluye parámetros compartidos establecidos de acuerdo con la ontología de la construcción. Luego, con la utilización de PyRevit, se llevan a cabo rutinas de extracción y validación de datos que analizan el cumplimiento de condiciones previamente definidas (como la resistencia del concreto, la profundidad de desplante, la continuidad estructural, entre otras).

En el segundo nivel, los resultados generados son organizados en un formato interoperable JSON y luego encapsulados en bloques criptográficos dentro de una cadena Blockchain privada.

El flujo operacional se resume de la siguiente manera:

Figura 73
Flujograma de trabajo



Nota: Proceso de integración Semantic BIM y blockchain

Esta arquitectura permite separar claramente el proceso de evaluación técnica del proceso de aseguramiento de integridad digital.

6.4.3. Generación de resultados en formato interoperable JSON

Para asegurar la interoperabilidad y compatibilidad con sistemas distribuidos, los resultados de la validación se organizan en formato JSON (JavaScript Object Notation), que es un estándar ampliamente utilizado para el intercambio de datos estructurados entre aplicaciones digitales.

Por lo tanto, exportaremos los datos confirmados de Semantic BIM, producidos previamente por Pyrevit, para continuar con lo establecido en Blockchain. En las tablas se presentan algunos de los datos y resultados generados por Pyrevit.

Figura 74

Tabla de datos exportados de Cimientos Corridos

Elementos	Código	Id	CC ANCHO	M	PROFUNDIDAD DESPL	CC F	RL-03-CC CUMPLE ANCHO	RL-02-CC CUMPLE PROFUNDIDAD	RL-01-CC CUMPLE FC	RL-04-CC CONTINUIDAD BAJOMUROS	CC ESTADO GENERAL	FECHA DE VALIDACION	RESPONSABLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	184805	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	184836	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-8	184209	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	421085	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	562648	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	562711	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	562796	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563390	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563011	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563094	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563327	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563190	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563250	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563334	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563393	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563469	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563535	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563576	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563661	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563709	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563758	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563821	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563870	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563918	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-8	564045	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564092	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564154	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564220	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564284	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564352	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	564401	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-8	564454	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564487	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	564551	0.5	1	100		CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP

Nota: Extracción de datos Pyrevit.

Figura 75

Tabla de datos exportados de Columnas

Elementos	Código	Id	MP_LONGITUD	RL-9=MP_CUMPLE_LONGITUD	RL-10=MP_INTERFIERE_COLUMA	MP_ESTADO_GENER	FECHA DE VALIDACION	RESPONSABLE
MURO PORTANTE2	M-2	268359	2.25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-1	269304	1.27	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-3	272747	1.25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-4	272818	1.25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-5	272968	1.95	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-11	326896	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-9	327022	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-10	327118	0.55	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-13	330964	2.55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-14	331197	1.15	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-15	331771	1.15	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-16	331916	1.65	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-17	332884	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-19	333117	1.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-22	334494	1.45	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-20	335094	1.55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-25	335991	1.35	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-28	336454	0.95	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-29	336587	2.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-30	336657	0.65	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-26	336734	2.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-27	337504	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-31	339552	1	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-32	341234	1.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-34	341444	2.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-24	341762	1.9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2	M-23	341982	2.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP

Nota: Extracción de datos Pyrevit.

Figura 76

Tabla de datos exportados de Muro Portante

Elementos	Codig	Idi	COL_ANCHO	COL_PERALTE	COL_F	RL-06-COL_CUMPLE	ANCH	RL-07-COL_CUMPLE	PERAL	RL-05-COL_CUMPLE	I	RL-08-COL_SEAPOYAEEN_CIMENTACI	COL_ESTADO	GENE	FECHA DE VALIDACI	RESPONSABLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182741	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182260	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182270	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182282	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182292	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182302	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182316	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182368	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182392	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182394	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182404	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182416	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182436	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182461	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182475	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182485	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182497	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182507	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182529	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182557	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182567	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182581	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182595	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182605	0.6	0.6	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	209827	0.25	0.25	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211551	0.25	0.25	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211736	0.25	0.25	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211746	0.25	0.25	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211756	0.25	0.25	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211780	0.25	0.25	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211792	0.25	0.25	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211802	0.25	0.25	210	CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE		CUMPLE	CUMPLE		03/03/2026	VALIDADOR TECNICO JC&RP

Nota: Extracción de datos Pyrevit.

El uso de JSON permite organizar la información mediante pares clave–valor, facilitando su lectura, almacenamiento y procesamiento automático. Cada registro de validación incluye:

- Identificador único del elemento.
- Tipo de elemento estructural.
- Parámetros evaluados.
- Resultado de cumplimiento (verdadero/falso).
- Fecha y hora de validación.
- Responsable del proceso.

Ejemplo conceptual:

Figura 77

Ejemplo de formato JSON aplicado a la metodología

```
</> JSON

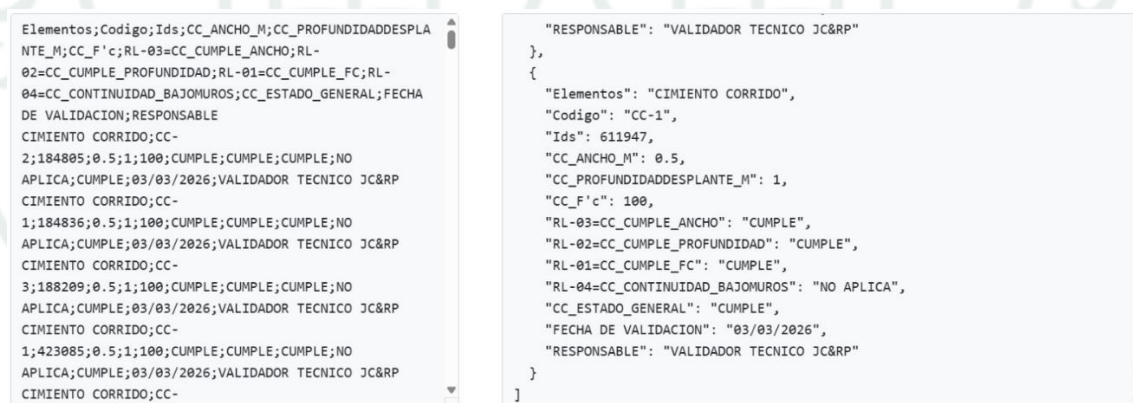
{
  "ID_Elemento": "CC_01",
  "Tipo_Elemento": "Cimiento_Corrido",
  "Validaciones": {
    "Cumple_f_c": true,
    "Cumple_Profundidad": false,
    "Cumple_Ancho": true
  },
  "Fecha_Validacion": "2026-02-20",
  "Responsable": "Validador_Tecnico"
}
```

Nota: Extracto de formato JSON.

Al ya tener los datos brindados por Pyrebit, se procede a exportar los datos para pasarlos en formato JSON, según la estructura brindada en la tesis. Con esos datos se nos hará mejor la trazabilidad e intemporalidad para nuestro campus en blockchain.

Figura 78

Transformación de formatos CSV a JSON- CC



The image shows a side-by-side comparison of a CSV file and its corresponding JSON output. On the left, a CSV file is displayed with columns: Elementos,Codigo,Ids,CC_ANCHO_M,CC_PROFUNDIDAD,DESPLANTE_M,CC_F'c,RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO,RL-02=CC_CUMPLE_PROFUNDIDAD,RL-01=CC_CUMPLE_FC,RL-04=CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS,CC_ESTADO_GENERAL,FECHA DE VALIDACION,RESPONSABLE. The CSV contains three rows of data for 'Cimiento Corrido' elements. On the right, the resulting JSON is shown as an array of objects. Each object contains the same data points as the CSV rows, with keys like 'Elementos', 'Codigo', 'Ids', 'CC_ANCHO_M', 'CC_PROFUNDIDAD', 'DESPLANTE_M', 'CC_F'c', 'RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO', 'RL-02=CC_CUMPLE_PROFUNDIDAD', 'RL-01=CC_CUMPLE_FC', 'RL-04=CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS', 'CC_ESTADO_GENERAL', 'FECHA DE VALIDACION', and 'RESPONSABLE'.

Nota: Cambio de familia a JSON. Fuente: ChangeJSON.com

Figura 79

Transformación de formatos Csv a JSON- Col

```
Elementos;Codigo;Ids;COL_ANCHO_M;COL_PERALTE_M;COL_F
'c;RL-06=COL_CUMPLE_ANCHO;RL-
07=COL_CUMPLE_PERALTE;RL-05=COL_CUMPLE_FC;RL-
08=COL_SEAPOYAE_CIMENTACION;COL_ESTADO_GENERAL;FECH
A DE VALIDACION;RESPONSABLE
COLUMNA ESTRUCTURAL;C-
1;178741;0.6;0.6;210;CUMPLE;CUMPLE;CUMPLE;CUMPLE;CUM
PLE;03/03/2026;VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL;C-
1;182260;0.6;0.6;210;CUMPLE;CUMPLE;CUMPLE;CUMPLE;CUM
PLE;03/03/2026;VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL;C-
1;182270;0.6;0.6;210;CUMPLE;CUMPLE;CUMPLE;CUMPLE;CUM
PLE;03/03/2026;VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL;C-
1;182282;0.6;0.6;210;CUMPLE;CUMPLE;CUMPLE;CUMPLE;CUM
PLE;03/03/2026;VALIDADOR TECNICO JC&RP
COLUMNA ESTRUCTURAL;C-
```

```
"RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
},
{
  "Elementos": "COLUMNA ESTRUCTURAL",
  "Codigo": "C-1",
  "Ids": 624503,
  "COL_ANCHO_M": 0.6,
  "COL_PERALTE_M": 0.6,
  "COL_F'c": 210,
  "RL-06=COL_CUMPLE_ANCHO": "CUMPLE",
  "RL-07=COL_CUMPLE_PERALTE": "CUMPLE",
  "RL-05=COL_CUMPLE_FC": "CUMPLE",
  "RL-08=COL_SEAPOYAE_CIMENTACION": "NO CUMPLE",
  "COL_ESTADO_GENERAL": "NO CUMPLE",
  "FECHA DE VALIDACION": "03/03/2026",
  "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
}
]
```

Nota: Cambio de familia a JSON. Fuente: ChangeJSON.com

Figura 80

Transformación de formatos Csv a JSON- Mp

```
Elementos;Codigo;Ids;MP_LONGITUD_M;RL-
9=MP_CUMPLE_LONGITUDMIN;RL-
10=MP_INTERFIERE_COLUMNA;MP_ESTADO_GENERAL;FECHA DE
VALIDACION;RESPONSABLE
MURO PORTANTE2;M-
2;268359;2.25;CUMPLE;CUMPLE;03/03/2026;VALIDA
DOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2;M-
1;269304;1.27;CUMPLE;CUMPLE;03/03/2026;VALIDA
DOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2;M-
3;272747;1.25;CUMPLE;CUMPLE;03/03/2026;VALIDA
DOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2;M-
4;272818;1.25;CUMPLE;CUMPLE;03/03/2026;VALIDA
DOR TECNICO JC&RP
MURO PORTANTE2;M-
5;272968;1.95;CUMPLE;CUMPLE;03/03/2026;VALIDA
```

```
[
{
  "Elementos": "MURO PORTANTE2",
  "Codigo": "M-2",
  "Ids": 268359,
  "MP_LONGITUD_M": 2.25,
  "RL-9=MP_CUMPLE_LONGITUDMIN": "CUMPLE",
  "RL-10=MP_INTERFIERE_COLUMNA": "CUMPLE",
  "MP_ESTADO_GENERAL": "CUMPLE",
  "FECHA DE VALIDACION": "03/03/2026",
  "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
},
{
  "Elementos": "MURO PORTANTE2",
  "Codigo": "M-1",
  "Ids": 269304,
  "MP_LONGITUD_M": 1.27,
  "RL-9=MP_CUMPLE_LONGITUDMIN": "CUMPLE",
  "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
}
]
```

Nota: Cambio de familia a JSON. Fuente: ChangeJSON.com

Finalizado el proceso de validación estructural en el entorno BIM, los resultados logrados se exportaron y se convirtieron a un formato interoperable JSON. Esta organización permitió clasificar los parámetros geométricos, de resistencia y normativos en una arquitectura de datos jerárquica y estandarizada, lo que facilitó su posterior procesamiento automatizado en el sistema Blockchain creado.

A continuación, se muestra un ejemplo representativo del archivo JSON creado a partir de resultados reales del modelo estructural, destacando la estructura de los datos antes de su inclusión en la cadena de bloques.

Figura 81

Programación JSON Cimientos Corridos

```
{
  "Elementos": "CIMIENTO CORRIDO",
  "Codigo": "CC-2",
  "Ids": 184805,
  "CC_ANCHO_M": 0.5,
  "CC_PROFUNDIDADDESPLANTE_M": 1,
  "CC_Fc": 100,
  "RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO": "CUMPLE",
  "RL-02=CC_CUMPLE_PROFUNDIDAD": "CUMPLE",
  "RL-01=CC_CUMPLE_FC": "CUMPLE",
  "RL-04=CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS": "NO APLICA",
  "CC_ESTADO_GENERAL": "CUMPLE",
  "FECHA_DE_VALIDACION": "03/03/2026",
  "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
},
{
  "Elementos": "CIMIENTO CORRIDO",
  "Codigo": "CC-1",
  "Ids": 184836,
  "CC_ANCHO_M": 0.5,
  "CC_PROFUNDIDADDESPLANTE_M": 1,
  "CC_Fc": 100,
  "RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO": "CUMPLE",
  "RL-02=CC_CUMPLE_PROFUNDIDAD": "CUMPLE",
  "RL-01=CC_CUMPLE_FC": "CUMPLE",
  "RL-04=CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS": "NO APLICA",
  "CC_ESTADO_GENERAL": "CUMPLE",
  "FECHA_DE_VALIDACION": "03/03/2026",
  "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
},
{
  "Elementos": "CIMIENTO CORRIDO",
  "Codigo": "CC-3",
  "Ids": 188209,
  "CC_ANCHO_M": 0.5,
  "CC_PROFUNDIDADDESPLANTE_M": 1,
  "CC_Fc": 100,
  "RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO": "CUMPLE",
  "RL-02=CC_CUMPLE_PROFUNDIDAD": "CUMPLE",
  "RL-01=CC_CUMPLE_FC": "CUMPLE",
  "RL-04=CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS": "NO APLICA",
  "CC_ESTADO_GENERAL": "CUMPLE",
  "FECHA_DE_VALIDACION": "03/03/2026",
  "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
}
}
```

Nota: Código visual de cadena de bloques CC.

Figura 82

Programación JSON Columnas Estructurales

```
{
  "Elementos": "COLUMNA ESTRUCTURAL",
  "Codigo": "C-1",
  "Ids": 178741,
  "COL_ANCHO_M": 0.6,
  "COL_PERALTE_M": 0.6,
  "COL_Fc": 210,
  "RL-06=COL_CUMPLE_ANCHO": "CUMPLE",
  "RL-07=COL_CUMPLE_PERALTE": "CUMPLE",
  "RL-05=COL_CUMPLE_FC": "CUMPLE",
  "RL-08=COL_SEAPOYAEN_CIMENTACION": "CUMPLE",
  "COL_ESTADO_GENERAL": "CUMPLE",
  "FECHA_DE_VALIDACION": "03/03/2026",
  "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
},
{
  "Elementos": "COLUMNA ESTRUCTURAL",
  "Codigo": "C-1",
  "Ids": 182260,
  "COL_ANCHO_M": 0.6,
  "COL_PERALTE_M": 0.6,
  "COL_Fc": 210,
  "RL-06=COL_CUMPLE_ANCHO": "CUMPLE",
  "RL-07=COL_CUMPLE_PERALTE": "CUMPLE",
  "RL-05=COL_CUMPLE_FC": "CUMPLE",
  "RL-08=COL_SEAPOYAEN_CIMENTACION": "CUMPLE",
  "COL_ESTADO_GENERAL": "CUMPLE",
  "FECHA_DE_VALIDACION": "03/03/2026",
  "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
},
{
  "Elementos": "COLUMNA ESTRUCTURAL",
  "Codigo": "C-1",
  "Ids": 182270,
  "COL_ANCHO_M": 0.6,
  "COL_PERALTE_M": 0.6,
  "COL_Fc": 210,
  "RL-06=COL_CUMPLE_ANCHO": "CUMPLE",
  "RL-07=COL_CUMPLE_PERALTE": "CUMPLE",
  "RL-05=COL_CUMPLE_FC": "CUMPLE",
  "RL-08=COL_SEAPOYAEN_CIMENTACION": "CUMPLE",
  "COL_ESTADO_GENERAL": "CUMPLE",
  "FECHA_DE_VALIDACION": "03/03/2026",
  "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
}
}
```

Nota: Código visual de cadena de bloques Col.

Figura 83

Programación JSON Muros Portantes

```
[
  {
    "Elementos": "MURO PORTANTE",
    "Codigo": "M-2",
    "Ids": 268359,
    "MP_LONGITUD_M": 2.25,
    "RL-09=MP_CUMPLE_LONGITUDMIN": "CUMPLE",
    "RL-10=MP_INTERFIERE_COLUMNNA": "CUMPLE",
    "MP_ESTADO_GENERAL": "CUMPLE",
    "FECHA_DE_VALIDACION": "03/03/2026",
    "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
  },
  {
    "Elementos": "MURO PORTANTE",
    "Codigo": "M-10",
    "Ids": 327118,
    "MP_LONGITUD_M": 0.55,
    "RL-09=MP_CUMPLE_LONGITUDMIN": "NO CUMPLE",
    "RL-10=MP_INTERFIERE_COLUMNNA": "CUMPLE",
    "MP_ESTADO_GENERAL": "NO CUMPLE",
    "FECHA_DE_VALIDACION": "03/03/2026",
    "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
  },
  {
    "Elementos": "MURO PORTANTE",
    "Codigo": "M-13",
    "Ids": 330964,
    "MP_LONGITUD_M": 2.55,
    "RL-09=MP_CUMPLE_LONGITUDMIN": "CUMPLE",
    "RL-10=MP_INTERFIERE_COLUMNNA": "CUMPLE",
    "MP_ESTADO_GENERAL": "CUMPLE",
    "FECHA_DE_VALIDACION": "03/03/2026",
    "RESPONSABLE": "VALIDADOR TECNICO JC&RP"
  }
]
```

Nota: Código visual de cadena de bloques Mp.

La estructuración en JSON constituye el paso previo necesario para la integración de Blockchain, dado que los bloques almacenan datos estructurados y no archivos BIM completos.

6.4.4. Implementación técnica del entorno local de registro blockchain

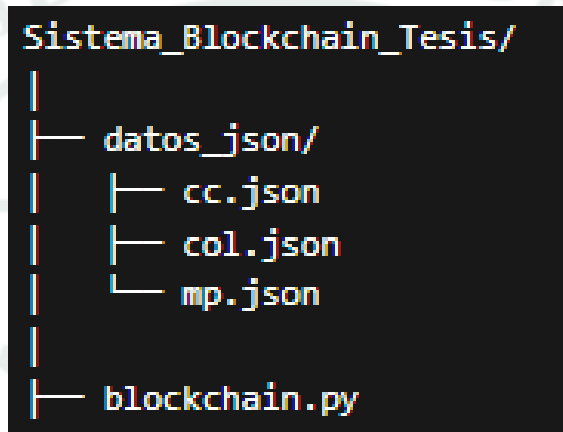
6.4.4.1. Estructura organizacional del sistema de archivos

Para garantizar orden, trazabilidad y separación funcional de componentes, se definió una estructura jerárquica de carpetas en el entorno local de implementación.

La estructura adoptada fue la siguiente:

Figura 84

Estructura de datos inmersos



```
Sistema_Blockchain_Tesis/  
├── datos_json/  
│   ├── cc.json  
│   ├── col.json  
│   └── mp.json  
└── blockchain.py
```

Nota: Estructura para ejecución.

La organización responde a principios básicos de arquitectura de software:

1. Separación de datos y lógica
 - *datos_JSON/* contiene exclusivamente información validada.
 - *blockchain.py* contiene la lógica criptográfica del sistema.
2. Modularidad
 - Cada tipo estructural (CC, COL, MP) posee su propio archivo.
 - Permite escalabilidad futura (ej. agregar vigas, zapatas, losas).
3. Trazabilidad por categoría
 - Se conserva independencia por sistema estructural.
 - Facilita auditorías técnicas diferenciadas.

6.4.4.2. Función del directorio datos_JSON

La carpeta *datos_JSON* cumple el rol de repositorio interoperable de resultados de validación semántica.

Cada archivo contiene registros estructurados provenientes del modelo BIM:

- cc.JSON → Cimientos corridos
- col.JSON → Columnas
- mp.JSON → Muros portantes

Con el siguiente código, nos facilita la interoperabilidad entre la programación que venimos ejecutando juntamente con los datos para analizar la cadena de bloques en blockchain

Código:

Figura 85

Código de interoperabilidad de datos

```
import hashlib
import datetime
import json
import os

class Block:
    def __init__(self, index, data, previous_hash):
        self.index = index
        self.timestamp = str(datetime.datetime.now())
        self.data = data
        self.previous_hash = previous_hash
        self.hash = self.calculate_hash()

    def calculate_hash(self):
        block_string = str(self.index) + self.timestamp + json.dumps(self.data) + self.previous_hash
        return hashlib.sha256(block_string.encode()).hexdigest()

class Blockchain:
    def __init__(self):
        self.chain = [self.create_genesis_block()]

    def create_genesis_block(self):
        return Block(0, "Genesis Block", "0")

    def add_block(self, data):
        previous_block = self.chain[-1]
        new_block = Block(len(self.chain), data, previous_block.hash)
        self.chain.append(new_block)

# Crear blockchain
mi_blockchain = Blockchain()

# Ruta carpeta JSON
ruta_json = "datos_json"

# Leer todos los archivos JSON de la carpeta
for archivo in os.listdir(ruta_json):
    if archivo.endswith(".json"):
        with open(os.path.join(ruta_json, archivo), "r") as file:
            datos = json.load(file)
            for registro in datos:
                mi_blockchain.add_block(registro)

# Mostrar blockchain
for block in mi_blockchain.chain:
    print(vars(block))
```

Nota: Código final para interoperabilidad.

6.4.4.3. Desarrollo del script *blockchain.py*

El archivo *blockchain.py* forma el corazón lógico del sistema criptográfico creado en esta investigación. Su tarea consiste en crear una infraestructura de cadena de bloques (Blockchain) que registre de forma inalterable los resultados generados durante la validación estructural en el contexto de SemanticBIM

El script ejecuta las siguientes operaciones secuenciales:

1. Lectura automatizada de los archivos JSON generados a partir del modelo BIM.
2. Conversión de cada registro validado en un bloque criptográfico.
3. Generación de un código hash mediante el algoritmo SHA-256.
4. Encadenamiento del nuevo bloque con el bloque anterior.
5. Impresión estructurada de la cadena resultante para su verificación.

6.4.4.4. Justificación del uso de Python

La implementación del prototipo de programación de Blockchain fue desarrollada en Python debido a su capacidad para modelar estructuras de datos complejas, ejecutar funciones criptográficas y automatizar procesos de validación mediante programación estructurada y orientada a objetos.

Desde el punto de vista técnico, Python permite:

- Definir clases para representar bloques y cadenas de bloques.
- Manipular estructuras JSON de forma nativa.
- Serializar datos para garantizar consistencia en el cálculo de hashes.
- Implementar algoritmos criptográficos mediante librerías estándar como *hashlib*.

En particular, se empleó el algoritmo SHA-256 para la generación de huellas digitales (hashes), asegurando que cualquier modificación en los datos originales produzca una variación inmediata y detectable en el hash resultante. Este comportamiento determinístico es fundamental para demostrar la propiedad de inmutabilidad dentro del sistema desarrollado.

Adicionalmente, Python ofrece ventajas relevantes en el contexto académico y experimental:

- Control total sobre la lógica de encadenamiento criptográfico.
- Independencia de plataformas externas.
- Reproducibilidad del procedimiento metodológico.
- Facilidad de integración con archivos CSV y JSON generados desde el modelo BIM.

El uso de Python permitió construir un entorno controlado donde cada bloque almacena información validada, su hash correspondiente y el hash del bloque previo, garantizando trazabilidad estructurada y verificación de integridad mediante comparación criptográfica.

6.4.5. Estructura conceptual del bloque criptográfico

La incorporación de un mecanismo basado en blockchain dentro del sistema de validación semántica responde a la necesidad de garantizar la integridad, trazabilidad y no alteración de los resultados obtenidos en el entorno SemanticBIM.

Durante el proceso de validación estructural (cimientos corridos, columnas y muros portantes), los resultados generados contienen información crítica como:

- Parámetros geométricos.
- Parámetros resistentes ($f'c$).
- Condiciones de cumplimiento normativo.
- Fecha de validación.
- Responsable técnico.

En un entorno tradicional, estos resultados pueden almacenarse en archivos editables (Excel, bases de datos, documentos), los cuales pueden ser modificados sin dejar evidencia técnica de alteración.

Por ello, se implementó un mecanismo criptográfico que permita:

1. Registrar los resultados de validación.
2. Asociarlos a una marca temporal.
3. Vincularlos entre sí mediante un sistema de encadenamiento.
4. Detectar cualquier modificación posterior.

La tecnología Blockchain fue seleccionada debido a que su principio estructural se basa en la generación de bloques enlazados criptográficamente mediante funciones hash irreversibles.

Cada bloque del sistema propuesto está compuesto por los siguientes elementos:

- Índice del bloque.
- Marca temporal (timestamp).
- Datos (registro JSON de validación).
- Hash del bloque anterior.
- Hash actual del bloque.

El hash corresponde a una función criptográfica que genera una cadena única de caracteres a partir del contenido del bloque. Cualquier modificación en la información altera completamente el hash generado, permitiendo detectar cambios no autorizados.

6.4.5.1. Componentes estructurales de cada bloque

Cada bloque generado por el script presenta la siguiente estructura:

Figura 86

Estructura de bloques semánticos

```
{
  'index': 1,
  'timestamp': '2026-03-04 19:28:15.142075',
  'data': {registro JSON},
  'previous_hash': 'e5303e62f3ce5ea8ba78...',
  'hash': '8286f5681e26e41019d24...'
}
```

Nota: Estructuración basada en script.

A continuación, se explica técnicamente cada componente:

a) Index

Corresponde al número secuencial del bloque dentro de la cadena.

- El bloque 0 es el bloque génesis.
- El bloque 1 contiene el primer registro validado.
- El bloque n representa el enésimo resultado estructural.

Este índice permite establecer orden cronológico.

b) Timestamp

Es la marca temporal generada automáticamente por el sistema al momento de crear el bloque.

Ejemplo:

Figura 87

Timestamp ejemplo



2026-03-04 19:28:15.142075

Nota: Fragmento de ejemplo para código.

La marca temporal garantiza:

- Evidencia del momento exacto de registro.
- Trazabilidad cronológica.
- Imposibilidad de retroactividad sin alterar el hash.

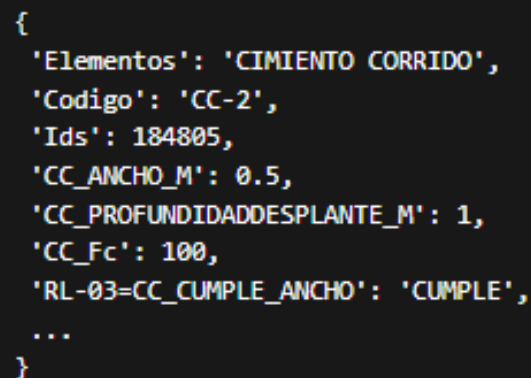
c) Data

Contiene el registro completo proveniente del archivo JSON.

Por ejemplo, para un cimiento corrido:

Figura 88

Registro Data ejemplo



```
{
  'Elementos': 'CIMIENTO CORRIDO',
  'Codigo': 'CC-2',
  'Ids': 184805,
  'CC_ANCHO_M': 0.5,
  'CC_PROFUNDIDADESPLANTE_M': 1,
  'CC_Fc': 100,
  'RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO': 'CUMPLE',
  ...
}
```

Nota: Fragmento de ejemplo para código.

Este campo representa la información técnica validada del modelo BIM.

Es importante señalar que el sistema no almacena únicamente el resultado final (CUMPLE / NO CUMPLE), sino todos los parámetros evaluados, fortaleciendo la trazabilidad técnica.

d) Previous_Hash

Contiene el código hash del bloque anterior.

Ejemplo:

Figura 89

Código Hash encadenado ejemplo

```
'previous_hash': 'e5303e62f3ce5ea8ba781295fff9d87aaec53ba680c2c6acf6beb8f32a8573e0'
```

Nota: Fragmento de ejemplo para código.

Este elemento es el componente clave del encadenamiento criptográfico.

Si cualquier dato del bloque anterior cambia, su hash cambiaría completamente, invalidando este bloque y todos los posteriores.

e) Hash

Es el código criptográfico generado mediante el algoritmo SHA-256 aplicado a:

- Index
- Timestamp
- Data
- Previous_Hash

Figura 90

Hash generado - ejemplo

```
'hash': '8286f5681e26e41019d2403c4d66a9c5ed835cae008fa3fe0fb4ac6abba323b1'
```

Nota: Fragmento de ejemplo para código.

Este código funciona como una huella digital única del bloque.

Una mínima modificación (por ejemplo, cambiar 0.5 a 0.6 en el ancho) generaría un hash completamente diferente.

6.4.6. *Proceso conceptual de encadenamiento de bloques*

El sistema inicia con un bloque especial denominado bloque génesis, el cual comprende el inicio del sistema de bloques.

6.4.6.1. **Bloque Génesis**

Es el primer bloque de la cadena:

Figura 91

Proceso de encadenamiento

```
{
  'index': 0,
  'timestamp': '...',
  'data': 'Genesis Block',
  'previous_hash': '0',
  'hash': '...'
}
```

Nota: Fragmento de ejemplo para código.

6.4.6.2. **Formación de la cadena**

El proceso de encadenamiento sigue esta lógica:

1. Se crea el bloque génesis.
2. Se lee el primer registro JSON.
3. Se calcula su hash.
4. Se guarda el hash del bloque anterior.
5. Se agrega a la cadena.
6. Se repite el proceso para todos los registros de:
 - cc.JSON
 - col.JSON
 - mp.JSON

El resultado es una cadena cronológica estructurada:

Bloque 0 → Génesis

Bloque 1 → Cimiento Corrido

Bloque 2 → Cimiento Corrido

Bloque 3 → Columna

Bloque 4 → Muro Portante

6.4.6.3. Propiedad de inmutabilidad

La propiedad de inmutabilidad constituye uno de los principios estructurales fundamentales de la tecnología Blockchain. En el sistema desarrollado en esta investigación, dicha propiedad se basa en la aplicación del algoritmo criptográfico SHA-256 sobre la concatenación de los siguientes elementos del bloque:

- Índice (index)
- Marca temporal (timestamp)
- Datos del registro estructural (JSON)
- Hash del bloque anterior (*previous_hash*)

El resultado es un código hash exclusivo que actúa como una impresión digital del bloque. Por las características del algoritmo SHA-256 determinismo, irreversibilidad y gran sensibilidad ante alteraciones cualquier cambio en el contenido del bloque genera un hash totalmente diferente.

Asimismo, cada bloque guarda el hash del bloque anterior a través del campo *previous_hash*, creando una dependencia secuencial. Si se modifica un bloque intermedio, su hash se transforma y ya no coincide con el *previous_hash* del bloque posterior, causando la ruptura estructural de la *cadena*. *Procedimiento* experimental de verificación:

La verificación de la inmutabilidad se realizó mediante un procedimiento controlado:

1. Se generó la cadena original ejecutando el script `blockchain.py`, registrando los hashes obtenidos.
2. Se modificó intencionalmente un parámetro estructural dentro de un archivo JSON.
3. Se regeneró la cadena bajo las mismas condiciones.
4. Se compararon los hashes obtenidos antes y después de la modificación.

Como resultado, se observó que:

- El hash del bloque modificado cambió completamente.
- Los bloques posteriores también presentaron valores hash distintos.
- La coherencia entre hash y *previous_hash* se vio alterada.

Esta evidencia confirma que el sistema detecta modificaciones posteriores a la generación inicial de la cadena.

6.4.6.4. Implementación final y consolidación de la cadena de bloques

Una vez definida la arquitectura conceptual del bloque criptográfico, establecido el mecanismo de encadenamiento y verificada la propiedad de inmutabilidad mediante el análisis del hash SHA-256, se procedió a la implementación integral del sistema propuesto en el entorno de programación Python.

La fase de implementación constituyó la materialización operativa del modelo teórico desarrollado en las secciones precedentes. En esta etapa se integraron los resultados obtenidos desde el entorno BIM correspondientes a cimientos corridos, columnas estructurales y muros portantes dentro de una estructura criptográfica encadenada.

El procedimiento técnico incluyó:

1. Exportación de los resultados de validación estructural desde PyRevit hacia formato Excel.
2. Conversión de los datos a formato CSV y posteriormente a archivos JSON estructurados.
3. Organización de los archivos en un entorno de trabajo controlado.
4. Ejecución del script blockchain.py para la lectura automatizada de los registros.
5. Generación secuencial de bloques criptográficos individuales.
6. Cálculo del hash SHA-256 para cada bloque.

Encadenamiento estructural mediante la incorporación del campo *previous_hash*.

Como resultado de la ejecución completa del script, se generó una cadena de bloques iniciada por un bloque génesis (*index* = 0), seguido por la totalidad de registros

estructurales validados. Cada validación produjo un bloque independiente, manteniendo la relación secuencial y criptográfica con el bloque precedente.

La salida obtenida en consola presentó la estructura general siguiente:

Figura 92

Resultado de encadenamiento ejemplo

```
{'index': 0, 'timestamp': '2026-03-04 ...', 'data': 'Genesis Block', 'previous_hash': '0', 'hash': ...}
{'index': 1, 'timestamp': '2026-03-04 ...', 'data': {...}, 'previous_hash': '...', 'hash': '...'}
{'index': 2, 'timestamp': '2026-03-04 ...', 'data': {...}, 'previous_hash': '...', 'hash': '...'}
...
```

Nota: Fragmento de ejemplo para código.

Cada bloque generado contiene:

- Un identificador secuencial que define su posición en la cadena.
- Una marca temporal precisa asociada al momento de su creación.
- El registro estructural completo en formato JSON.
- El hash del bloque anterior, garantizando la dependencia secuencial.
- Su propio hash criptográfico calculado mediante SHA-256.

La cadena completa representa la consolidación funcional del modelo Blockchain propuesto en la investigación. No se trata únicamente de una representación de conceptual, sino de una implementación operativa capaz de registrar, estructurar y proteger digitalmente los resultados de validación estructural.

Figura 93

Cadena final generada para blockchain

```
{'index': 0, 'timestamp': '2026-03-04 19:28:15.141418', 'data': 'Genesis Block', 'previous_hash': '0', 'hash': 'e5303e62f3ce5ea8ba781295fff9d87aaec53ba680c2c6acf6beb8f32a8573e0'}
{'index': 1, 'timestamp': '2026-03-04 19:28:15.142075', 'data': {'Elementos': 'CIMIENTO CORRIDO', 'Codigo': 'CC-2', 'Ids': '184805', 'CC_ANCHO_M': 0.5, 'CC_PROFUNDIDADDESPLANTE_M': 1, 'CC_Fc': 100, 'RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO': 'CUMPLE', 'RL-02=C_CUMPLE_PROFUNDIDAD': 'CUMPLE', 'RL-01=CC_CUMPLE_FC': 'CUMPLE', 'RL-04=CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS': 'NO APLICA', 'CC_ESTADO_GENERAL': 'CUMPLE', 'FECHA DE VALIDACION': '03/03/2026', 'RESPONSABLE': 'VALIDADOR TECNICO JC&RP'}, 'previous_hash': 'e5303e62f3ce5ea8ba781295fff9d87aaec53ba680c2c6acf6beb8f32a8573e0', 'hash': '8286f5681e26e41019d2403c4d66a9c5ed835cae008fa3fe0fb4acc6abba323b1'}
{'index': 2, 'timestamp': '2026-03-04 19:28:15.142112', 'data': {'Elementos': 'CIMIENTO CORRIDO', 'Codigo': 'CC-1', 'Ids': '184836', 'CC_ANCHO_M': 0.5, 'CC_PROFUNDIDADDESPLANTE_M': 1, 'CC_Fc': 100, 'RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO': 'CUMPLE', 'RL-02=C_CUMPLE_PROFUNDIDAD': 'CUMPLE', 'RL-01=CC_CUMPLE_FC': 'CUMPLE', 'RL-04=CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS': 'NO APLICA', 'CC_ESTADO_GENERAL': 'CUMPLE', 'FECHA DE VALIDACION': '03/03/2026', 'RESPONSABLE': 'VALIDADOR TECNICO JC&RP'}, 'previous_hash': '8286f5681e26e41019d2403c4d66a9c5ed835cae008fa3fe0fb4acc6abba323b1', 'hash': '35e6a246b6ec89625be71763831a75ac4e06d5751c466e6c6c8581662257a9d2'}
{'index': 3, 'timestamp': '2026-03-04 19:28:15.142125', 'data': {'Elementos': 'CIMIENTO CORRIDO', 'Codigo': 'CC-3', 'Ids': '188209', 'CC_ANCHO_M': 0.5, 'CC_PROFUNDIDADDESPLANTE_M': 1, 'CC_Fc': 100, 'RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO': 'CUMPLE', 'RL-02=C_CUMPLE_PROFUNDIDAD': 'CUMPLE', 'RL-01=CC_CUMPLE_FC': 'CUMPLE', 'RL-04=CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS': 'NO APLICA', 'CC_ESTADO_GENERAL': 'CUMPLE', 'FECHA DE VALIDACION': '03/03/2026', 'RESPONSABLE': 'VALIDADOR TECNICO JC&RP'}, 'previous_hash': '35e6a246b6ec89625be71763831a75ac4e06d5751c466e6c6c8581662257a9d2', 'hash': 'e1758e8654b76b8a3abbeaf9c049d1e8eac0005df38a839c96b9a8200bf9176f'}
{'index': 4, 'timestamp': '2026-03-04 19:28:15.142132', 'data': {'Elementos': 'CIMIENTO CORRIDO', 'Codigo': 'CC-1', 'Ids': '423085', 'CC_ANCHO_M': 0.5, 'CC_PROFUNDIDADDESPLANTE_M': 1, 'CC_Fc': 100, 'RL-03=CC_CUMPLE_ANCHO': 'CUMPLE', 'RL-02=C_CUMPLE_PROFUNDIDAD': 'CUMPLE', 'RL-01=CC_CUMPLE_FC': 'CUMPLE', 'RL-04=CC_CONTINUIDAD_BAJOMUROS': 'NO APLICA', 'CC_ESTADO_GENERAL': 'CUMPLE', 'FECHA DE VALIDACION': '03/03/2026', 'RESPONSABLE': 'VALIDADOR TECNICO JC&RP'}, 'previous_hash': 'e1758e8654b76b8a3abbeaf9c049d1e8eac0005df38a839c96b9a8200bf9176f', 'hash': 'e1758e8654b76b8a3abbeaf9c049d1e8eac0005df38a839c96b9a8200bf9176f'}
```

Nota: Resultado final del encadenamiento de bloques blockchain.

La generación exitosa de la cadena permite establecer las siguientes consideraciones técnicas:

- Todos los registros provenientes del sistema de validación fueron incorporados sin pérdida de información.
- Cada validación estructural quedó asociada a un identificador criptográfico único.
- La coherencia entre los campos hash y *previous_hash* se mantiene en toda la secuencia.
- La estructura resultante permite verificar integridad y detectar modificaciones posteriores.

Asimismo, el sistema demuestra que la integración de mecanismos criptográficos dentro de un flujo BIM es técnicamente viable sin requerir infraestructuras complejas de red distribuida.

6.4.7. Alcance y delimitación de la implementación Blockchain

La solución creada en este estudio no se refiere a una red Blockchain pública de alcance global, sino a una programación diseñada para comprobar los principios básicos de encadenamiento criptográfico, integridad de datos e inmutabilidad en un contexto controlado.

Esta delimitación se relaciona directamente con el alcance del caso de estudio, que se sitúa en un esquema de gestión técnica bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor, donde la administración, supervisión y control de la información se efectúan a nivel local (región, provincia o distrito). En este contexto, la creación de una red pública internacional descentralizada no es técnicamente fundamental ni adecuada a los fines del proyecto, dado que no se necesita un consenso global distribuido, validación por nodos externos ni la ejecución de contratos inteligentes abiertos.

El enfoque adoptado en esta investigación prioriza:

- Control total sobre la arquitectura del sistema.
- Mayor eficiencia computacional, al no requerir minería ni validación distribuida.
- Reducción de costos operativos.

- Protección de la información técnica, al mantenerse en un entorno institucional delimitado.
- Facilidad de replicabilidad académica y técnica.

Es importante señalar que el objetivo del estudio no es desarrollar una criptomoneda ni desplegar una red descentralizada pública, sino demostrar la aplicabilidad de los principios estructurales de Blockchain como mecanismo de aseguramiento de la integridad de resultados de validación estructural provenientes de un modelo BIM.

La arquitectura implementada cumple con los elementos esenciales de una cadena de bloques:

- Encadenamiento mediante hash del bloque anterior.
- Generación de huella digital criptográfica SHA-256.
- Registro secuencial e irreversible de información.
- Verificación determinística de integridad.

En consecuencia, la delimitación adoptada no representa una limitación tecnológica, sino una adecuación metodológica al contexto real de aplicación. Se demuestra que los fundamentos criptográficos de blockchain pueden implementarse eficazmente en sistemas de gestión técnica a escala local, garantizando trazabilidad e inmutabilidad sin necesidad de infraestructura descentralizada global. De esta manera, la investigación valida un modelo técnicamente viable, eficiente y adaptable a entornos institucionales regionales, aportando una solución pragmática alineada con las necesidades reales del sector construcción en contextos territoriales específicos.

6.5. Visualización y análisis de resultado con Power BI

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos durante el proceso de validación semántica, los datos generados fueron integrados en una plataforma de análisis y visualización de información. Para ello, se utilizó Microsoft PowerBI, herramienta especializada en la generación de paneles interactivos que permiten analizar grandes volúmenes de datos de manera estructurada y visual.

La integración de los resultados de validación con PowerBI permite representar de forma gráfica el estado de cumplimiento de los elementos estructurales evaluados

dentro del modelo BIM. A través de diferentes visualizaciones se puede identificar rápidamente el número de elementos que cumplen o no cumplen con las reglas lógicas definidas, así como localizar las inconsistencias detectadas según el tipo de elemento constructivo.

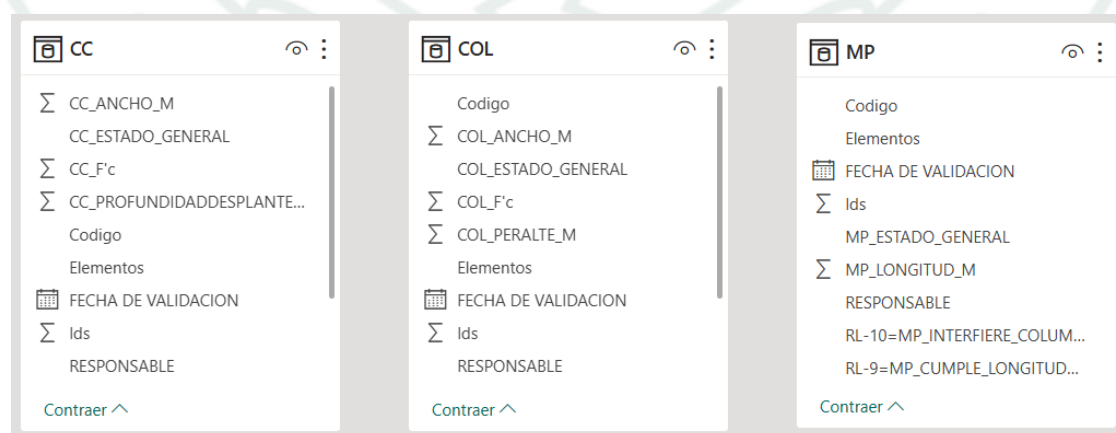
Los paneles desarrollados permiten analizar la información a distintos niveles, incluyendo la revisión general del modelo, el análisis específico por tipo de elemento estructural y la identificación de las reglas lógicas que presentan mayor número de incumplimientos. Este enfoque facilita la interpretación de los resultados, permitiendo identificar patrones de error y posibles deficiencias en el modelado o en la definición de atributos técnicos.

Asimismo, la visualización de los resultados mediante herramientas de inteligencia de datos contribuye a mejorar la trazabilidad de la información técnica generada durante el proceso de validación. Al disponer de una representación clara y organizada de los datos, los responsables del proyecto pueden tomar decisiones informadas orientadas a corregir inconsistencias y mejorar la calidad técnica del modelo BIM.

En este sentido, la utilización de plataformas de análisis como PowerBI complementa el sistema de validación automatizada propuesto, permitiendo transformar los resultados obtenidos en información comprensible y útil para la gestión técnica del proyecto.

Figura 94

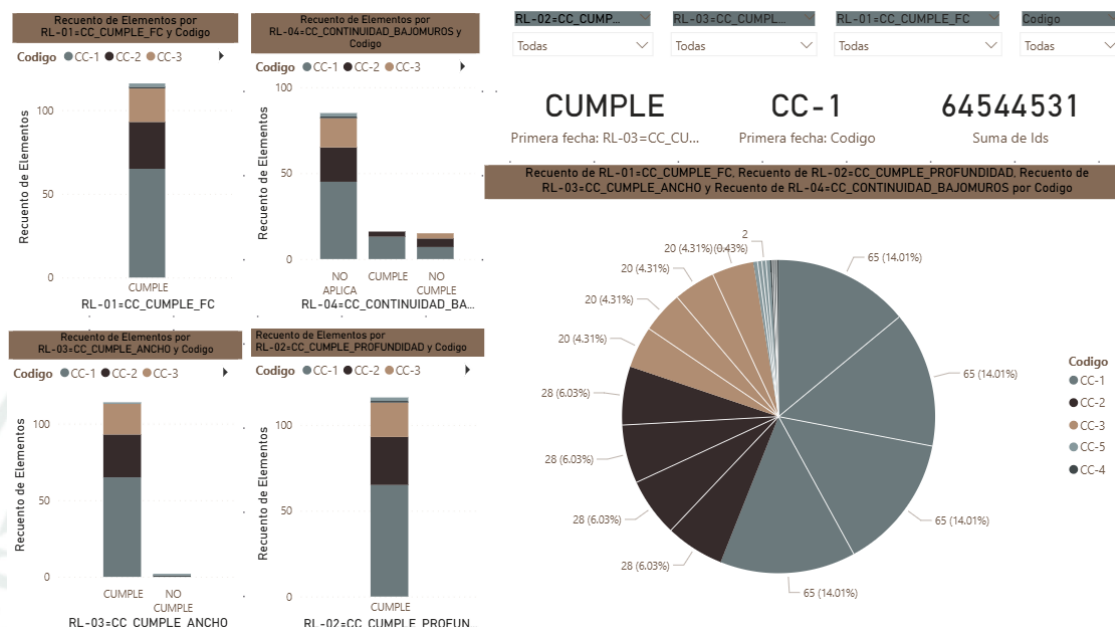
Exportación de resultados de validación hacia Power BI



Nota: Vista del proceso de transferencia de los datos generados por el sistema de validación semántica hacia el entorno de análisis de Power BI para su posterior procesamiento y visualización.

Figura 95

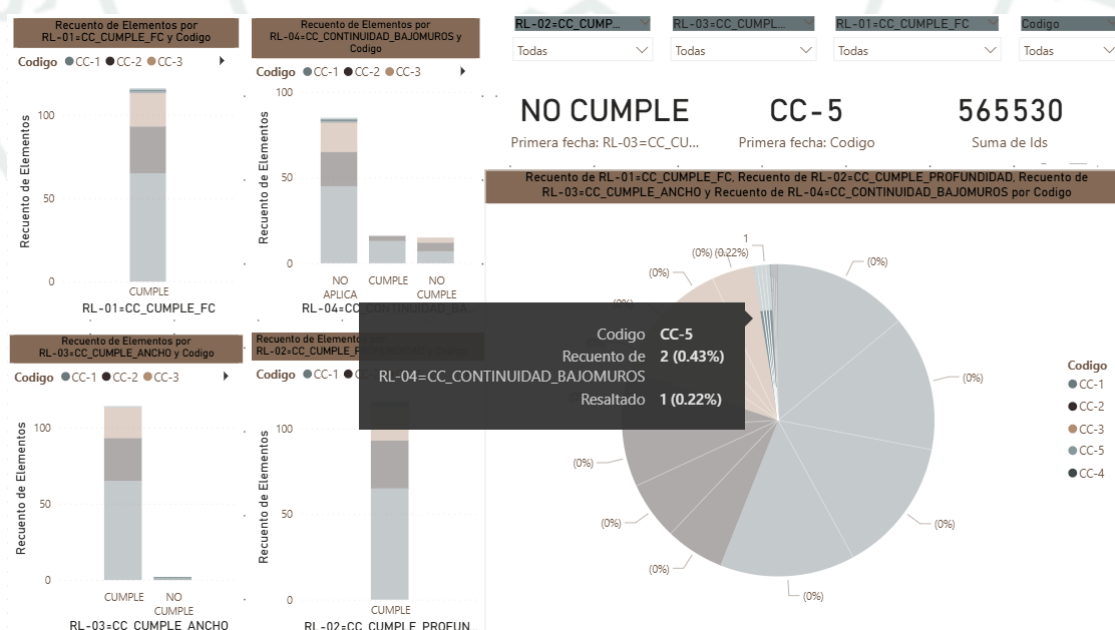
Interfaz de cimientos corridos del panel de validación



Nota: Vista general del panel de validación aplicado a los elementos estructurales de cimiento corrido (CC).

Figura 96

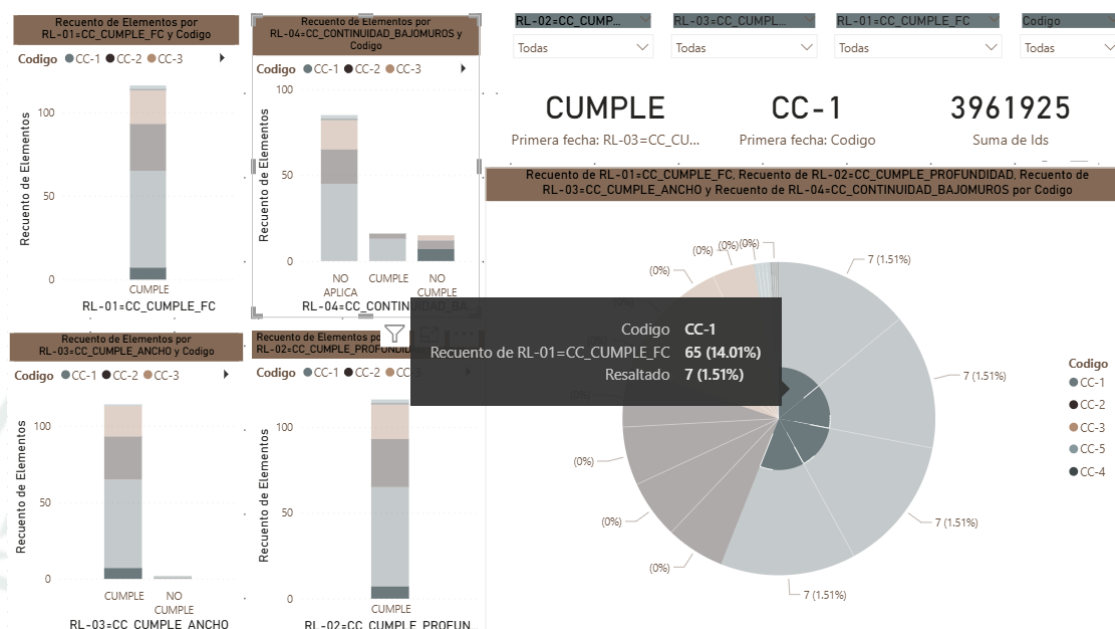
Incompatibilidad detectada en cimiento corrido mediante la RL-04



Nota: Visualización de una incompatibilidad identificada en cimiento corrido (CC) mediante la regla lógica RL-04.

Figura 97

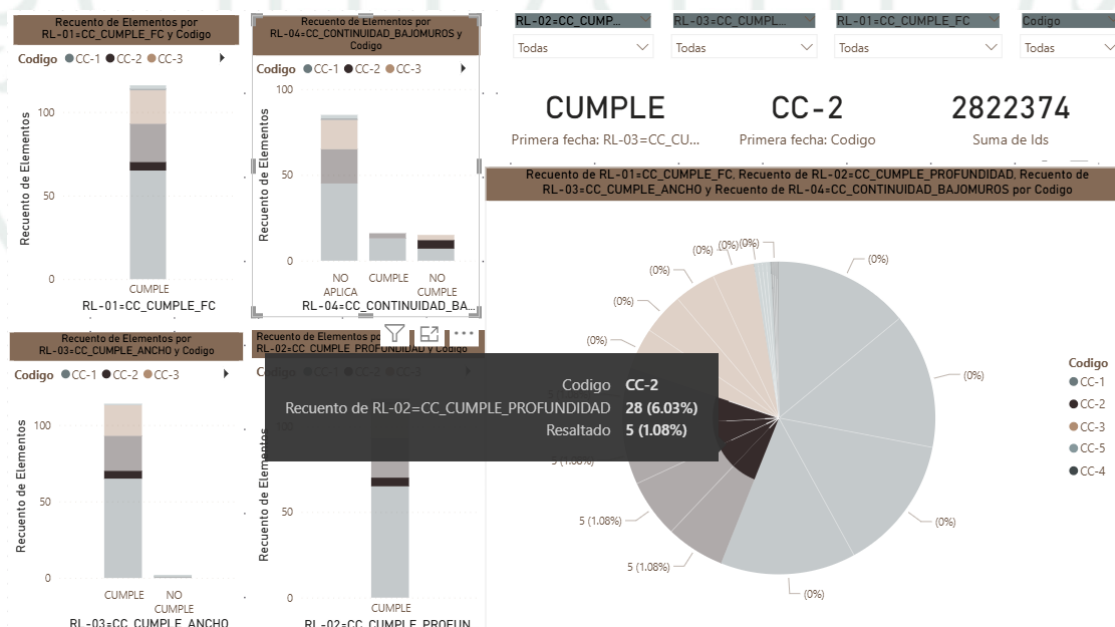
Incumplimiento de la RL-01 en cemento corrido



Nota: Identificación de elementos de cemento corrido (CC) que no cumplen con los criterios definidos en la regla lógica RL-01.

Figura 98

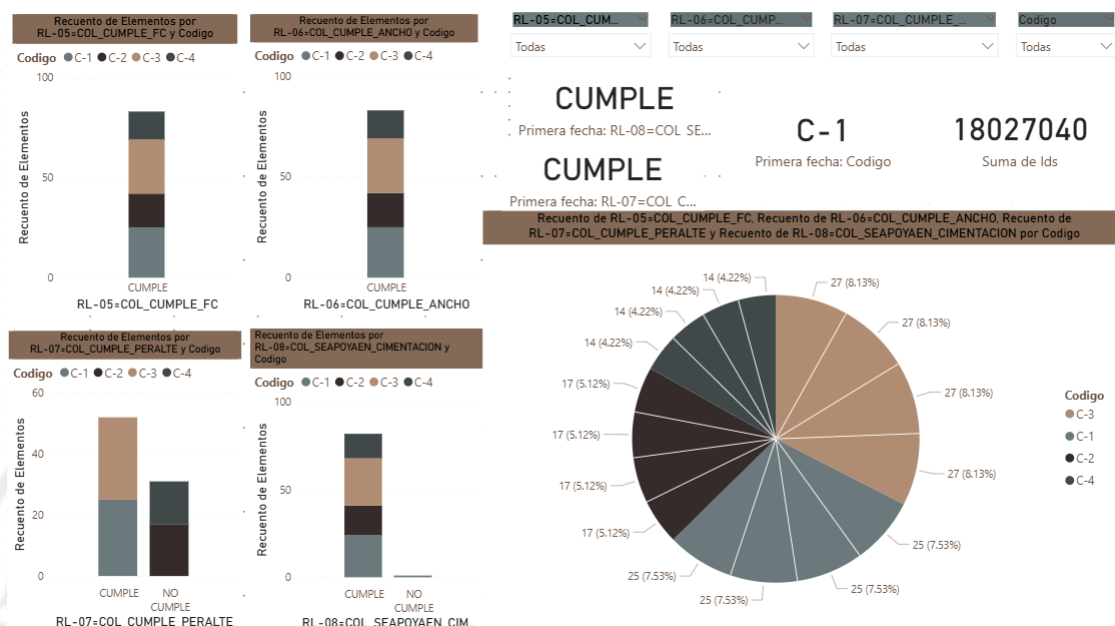
Incumplimiento de la RL-02 en cemento corrido



Nota: Visualización de elementos de cemento corrido (CC) que presentan incumplimiento respecto a la regla lógica RL-02.

Figura 99

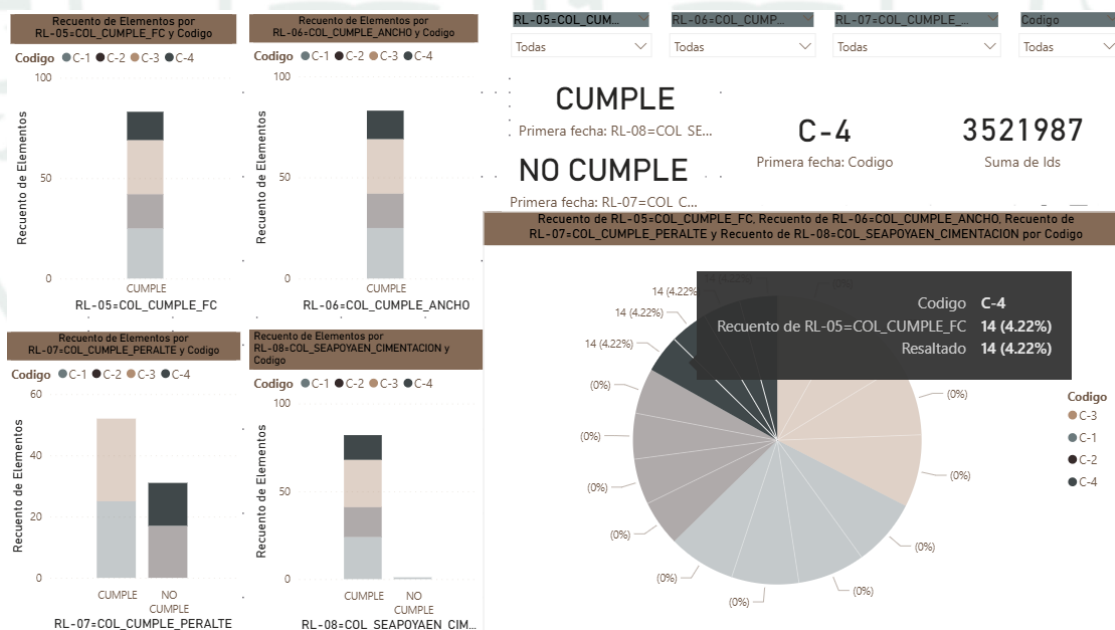
Interfaz de columnas del panel de validación



Nota: Panel de análisis en Power BI para la validación de elementos estructurales tipo columna (COL).

Figura 100

Incumplimiento de la RL-05 en columnas



Nota: Columnas (COL) que no cumplen con los criterios técnicos establecidos en la regla lógica RL-05.

Incumplimiento de la RL-08 en columnas



Columnas con incumplimiento de validación

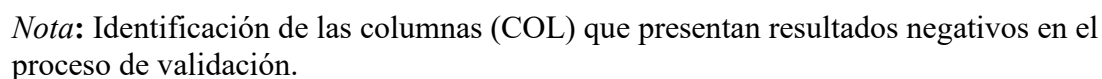
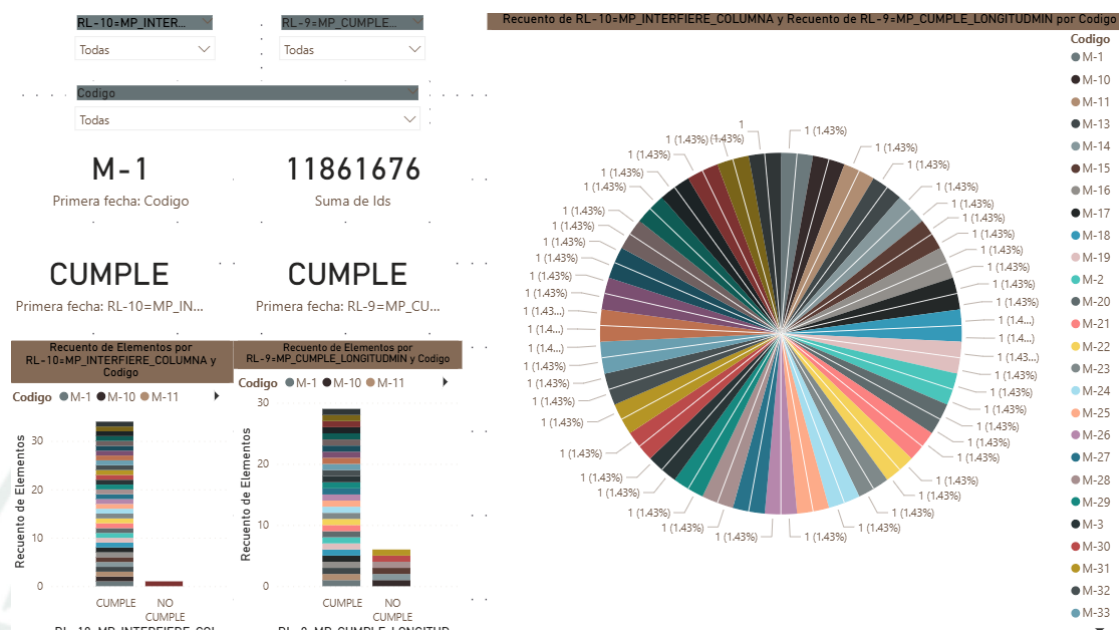


Figura 103

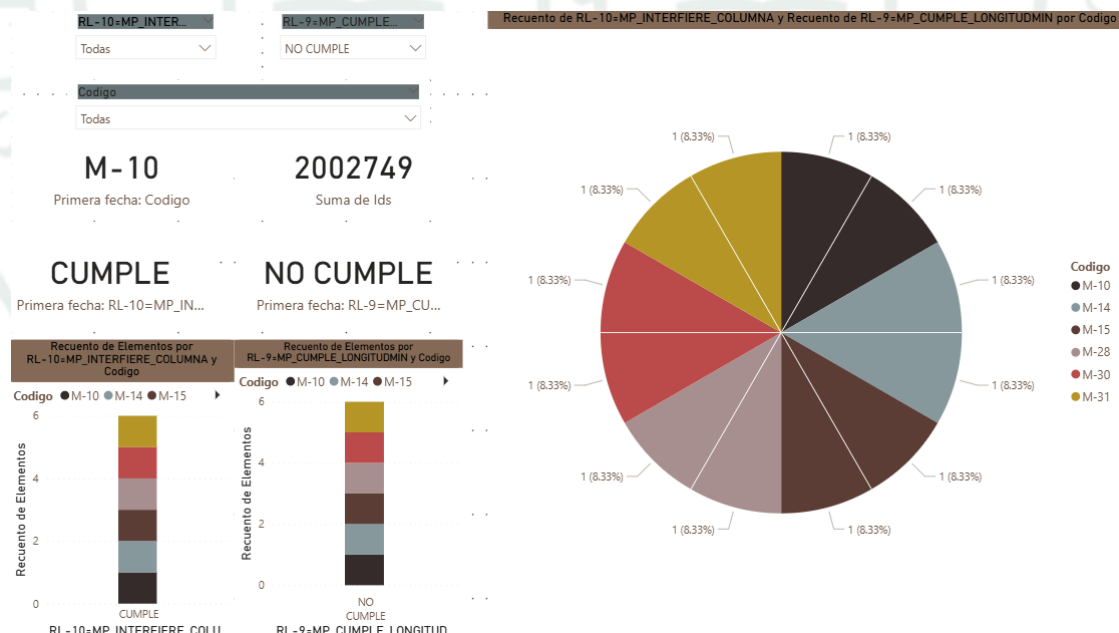
Interfaz de muros portantes del panel de validación



Nota: Panel de visualización de resultados para la validación de elementos estructurales tipo muro portante (MP).

Figura 104

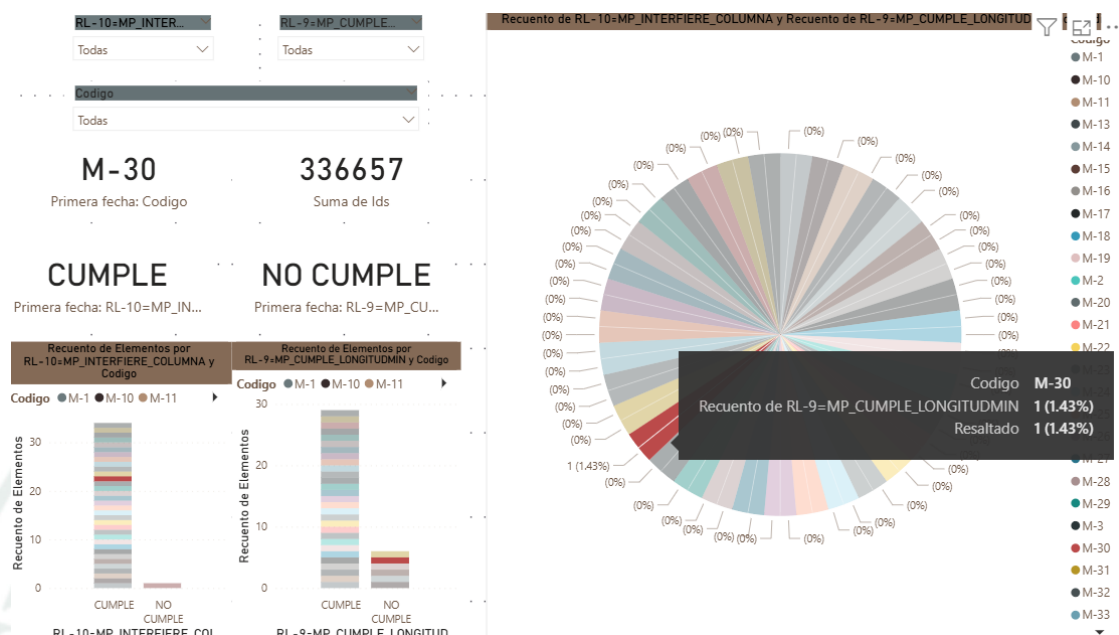
Incumplimientos generales en muros portantes



Nota: Visualización de inconsistencias detectadas durante la validación de muros portantes (MP).

Figura 105

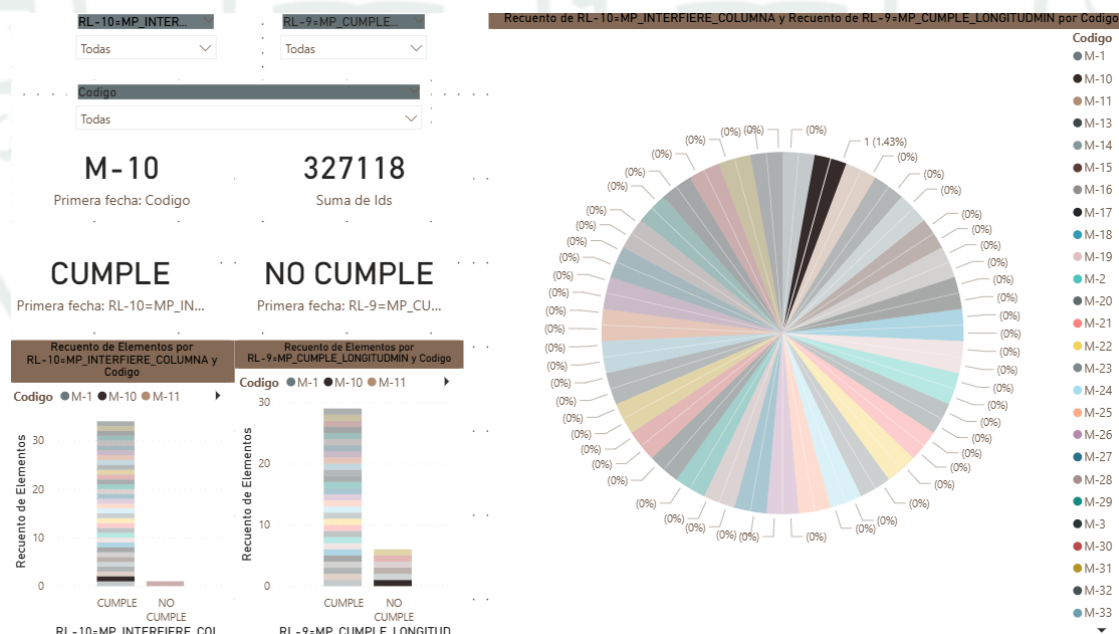
Incumplimiento de la RL-09 en muros portantes



Nota: Identificación de muros portantes (MP) que no cumplen con los criterios definidos en la regla lógica RL-09.

Figura 106

Vista general de reglas no cumplidas



Nota: Identificación de muros portantes (MP) que no cumplen con los criterios definidos en la regla lógica.

CAPÍTULO VII

7. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE INTEGRACIÓN

7.1. Justificación del uso del método Delphi

El método Delphi fue seleccionado como técnica de validación para la presente investigación debido a su idoneidad para evaluar propuestas metodológicas mediante el juicio estructurado de expertos. Considerando que el sistema de validación constructiva automatizada integrando Semantic BIM y Blockchain constituye una propuesta innovadora orientada a mejorar la trazabilidad y control de proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor, resulta pertinente recurrir a un mecanismo que permita obtener una evaluación técnica especializada y consensuada.

El método Delphi permite recopilar, analizar y consolidar opiniones de profesionales con experiencia en gestión de proyectos, ejecución de obras públicas y aplicación de metodologías BIM, garantizando un proceso sistemático de valoración. Su principal fortaleza radica en la posibilidad de obtener un nivel de consenso fundamentado en criterios técnicos, reduciendo sesgos individuales y favoreciendo una evaluación objetiva del sistema propuesto.

Asimismo, este método resulta especialmente adecuado cuando se busca validar modelos, metodologías o propuestas que aún no han sido implementadas de manera masiva, pero cuya viabilidad puede ser analizada desde la experiencia profesional de especialistas del sector. En ese sentido, la aplicación del método Delphi permite determinar el grado de aceptación, pertinencia y aplicabilidad del sistema desarrollado, así como identificar oportunidades de mejora antes de su posible implementación en proyectos reales.

7.2. Selección del panel de expertos

Para el proceso de validación participaron ocho (08) expertos, seleccionados en función de su experiencia profesional en la gestión de proyectos de inversión pública, ejecución y supervisión de obras, así como en la aplicación de metodologías BIM y gestión de la información en el sector construcción.

La selección de los especialistas se realizó considerando criterios específicos como: (i) experiencia mínima comprobada en el desarrollo o supervisión de proyectos de infraestructura, (ii) conocimiento y aplicación práctica de herramientas BIM en entornos

reales, (iii) participación en proyectos similares al caso de estudio, y (iv) grado académico y formación especializada en ingeniería civil o áreas afines.

Asimismo, se buscó contar con un grupo heterogéneo de profesionales provenientes de distintos ámbitos del sector construcción (diseño, ejecución, supervisión y gestión pública), con el propósito de obtener una evaluación integral, objetiva y multidisciplinaria de la propuesta planteada en la investigación.

Según Escobar y Cuervo (2008) indican que, para una correcta validación, sugiere un número entre 5 y 10 participantes, garantizando así la confiabilidad y consistencia de los resultados obtenidos, en este caso de investigación se optó por 8 expertos.

Tabla 37

Cuadro de selección de expertos

Código	Profesión	Grado académico	Cargo	Experiencia (años)
E1	Ing. Civil	Colegiado	Residente de obra	21
E2	Ing Civil	Colegiado	Jefe de Proyectos	18
E3	Ing Civil	Colegiado	Residente de obra	23
E4	Ing Civil	Colegiado	Jefe Calidad	14
E5	Ing Civil	Colegiado	Coordinador de Proyectos	16
E6	Ing Civil	Colegiado	Proyectista	9
E7	Arquitecto	Colegiado	Supervisor de Obra	17
E8	Arquitecto	Colegiado	Coordinador BIM	10

Nota: La selección de los mismo fueron adecuados para una mejor orientación al estudio, dado que son profesionales de diferentes áreas de una misma carrera.

7.3. Diseño del instrumento de evaluación

Una vez culminado el diseño y la implementación del sistema de validación constructiva automatizada, que integra principios de Semantic BIM y blockchain para proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor, se procedió a evaluar su consistencia técnica, aplicabilidad y aporte a la gestión de la información del proyecto, empleando el juicio de expertos como mecanismo de validación.

Para este proceso participaron ocho (08) expertos, seleccionados en función de su experiencia profesional en la gestión de proyectos de inversión pública, ejecución de obras, supervisión y/o aplicación de metodologías BIM. La validación tuvo como finalidad analizar el sistema propuesto desde una perspectiva técnica y práctica, permitiendo identificar fortalezas, limitaciones y oportunidades de mejora antes de su consolidación final.

La evaluación se llevó a cabo mediante una encuesta estructurada, compuesta por doce (12) ítems, los cuales fueron formulados en función de los componentes, procesos y resultados esperados del sistema propuesto. Cada ítem fue valorado a través de una escala de Likert de cinco niveles, donde el valor 1 representa “totalmente en desacuerdo” y el valor 5 representa “totalmente de acuerdo”. Adicionalmente, el instrumento incluyó un espacio destinado a observaciones cualitativas, con el objetivo de recoger comentarios técnicos y sugerencias por parte de los expertos.

Los resultados obtenidos evidencian una aceptación favorable del sistema propuesto, destacándose principalmente la coherencia de su estructura metodológica, el aporte de la validación semántica de la información a través de Semantic BIM y la incorporación de Blockchain como mecanismo que fortalece la trazabilidad, integridad y confiabilidad de los datos del proyecto. Estos aspectos fueron valorados positivamente por los expertos, quienes resaltaron su potencial para mejorar la gestión y control de proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor.

No obstante, a partir de las observaciones recogidas, se identificaron algunos aspectos susceptibles de mejora, relacionados principalmente con la necesidad de precisar determinados flujos de validación y reforzar la claridad de algunos procedimientos operativos del sistema. Dichas observaciones permitieron realizar ajustes orientados a optimizar su funcionamiento y facilitar su aplicación en contextos reales de ejecución de obra.

7.4. Validación del modelo de gestión propuesto

Para la validación del modelo de gestión propuesto, conforme a lo desarrollado en el Capítulo III, específicamente en el apartado correspondiente a los materiales y técnicas de verificación, se procedió a aplicar el método Delphi, considerando el juicio de expertos como instrumento principal para evaluar la consistencia, viabilidad y aplicabilidad del modelo planteado.

El proceso de validación se realizó con la participación de ocho (08) profesionales, seleccionados en función de su experiencia en gestión de proyectos, ejecución y supervisión de obras, así como en el uso de herramientas y metodologías vinculadas a la gestión constructiva. A través de sus opiniones especializadas, se buscó determinar el nivel de aceptación del modelo propuesto y, de ser el caso, recoger observaciones técnicas orientadas a su mejora.

La validación se llevó a cabo mediante la aplicación de una encuesta estructurada, diseñada bajo los principios del método Delphi, cuyo objetivo fue permitir que los expertos, en base a su propio criterio profesional, realicen un análisis integral del modelo de gestión propuesto. Asimismo, el instrumento contempló espacios para la emisión de comentarios y recomendaciones, con la finalidad de fortalecer el modelo antes de su consolidación final.

Como criterio de aceptación, se estableció que el modelo de gestión sería considerado válido siempre que alcance un nivel de aprobación igual o superior al 80 %, de acuerdo con las valoraciones emitidas por los expertos participantes. Diversos estudios metodológicos sobre la aplicación del método Delphi señalan que el nivel de consenso entre expertos suele establecerse en rangos entre el 70 % y 80 %, considerándose valores iguales o superiores al 80 % como indicativos de un alto nivel de acuerdo con Diamond et al. (2014). En ese sentido, el umbral adoptado en la presente investigación se considera adecuado para garantizar la validez del sistema propuesto.

La encuesta fue remitida a los expertos vía correo electrónico, previa coordinación individual, adjuntándose la documentación necesaria para la correcta comprensión del modelo de gestión y las indicaciones correspondientes para el desarrollo de la evaluación, la carta estructurada fue de esta forma:

Estimado(a) Ing. _____

Presente.

Reciba un cordial saludo.

Por medio de la presente, nos dirigimos a usted para expresarle nuestro mayor respeto y consideración. Le escriben Renata Pacheco Pérez y Jhordan Carpio Pequeño, tesistas de la Universidad Católica de Santa María – Arequipa, quienes actualmente nos encontramos desarrollando la tesis titulada:

Propuesta de un sistema de validación constructiva automatizada integrando Semantic BIM y Blockchain para la mejora de la trazabilidad de proyectos en modalidad de Núcleo Ejecutor en Arequipa, Perú.

En el marco del desarrollo de la investigación, resulta fundamental la validación técnica del sistema propuesto, razón por la cual se ha considerado la aplicación del método Delphi, metodología basada en el juicio de expertos, con el objetivo de evaluar la coherencia, viabilidad y aplicabilidad del modelo, así como recoger observaciones que permitan su mejora.

En ese sentido, nos permitimos solicitar cordialmente su apoyo como experto validador, considerando su experiencia profesional y conocimientos en gestión de proyectos y obras públicas. La validación se realizará mediante una encuesta estructurada, elaborada bajo los lineamientos del método Delphi, la cual contempla las siguientes características:

- Las respuestas serán anónimas.
- El proceso de validación se desarrollará en dos fases iterativas.
- El tiempo estimado para responder cada encuesta será de cinco (3) días calendario a partir de su recepción.

Finalizada la primera fase, el sistema será ajustado considerando las observaciones recibidas y posteriormente evaluado nuevamente en una segunda fase.

El criterio mínimo para considerar validado el sistema será alcanzar un 80% de aprobación por parte del panel de expertos.

Asimismo, junto a este mensaje se adjuntará el documento del sistema propuesto en formato PDF el cual es un resumen explicativo corto de nuestro método para el

entendimiento de este, así como el enlace de acceso a la encuesta en Google Forms, el cual será remitido previa coordinación con usted.

En caso de requerir alguna aclaración adicional respecto al contenido del documento o del instrumento de evaluación, quedamos a su entera disposición para coordinar una breve reunión virtual o atender cualquier consulta mediante este medio.

Agradecemos de antemano su tiempo, disposición y valioso aporte al desarrollo de esta investigación académica.

Atentamente,

Renata Pacheco Pérez

Tesista – Ingeniería Civil

Universidad Católica de Santa María

Jhordan Carpio

Tesista – Ingeniería Civil

Universidad Católica de Santa María

Correo electrónico: _____

Teléfono: _____

7.5. Resultados del método Delphi

La validación del sistema de validación constructiva automatizada integrando Semantic BIM y Blockchain se desarrolló mediante la aplicación del método Delphi en dos rondas sucesivas de evaluación (denominadas en el presente estudio como Fase 1 y Fase 2), con el propósito de alcanzar un nivel adecuado de consenso técnico entre los expertos participantes.

Para efectos de presentación de resultados, cada ronda del método Delphi ha sido estructurada como una fase de evaluación, manteniendo correspondencia directa entre ambos términos.

En la primera ronda, se remitió el instrumento de evaluación estructurado a los ocho (08) especialistas seleccionados, quienes valoraron cada uno de los ítems planteados mediante una escala de Likert de cinco niveles. Esta fase tuvo como objetivo obtener una primera apreciación cuantitativa del sistema propuesto, así como recoger observaciones cualitativas relacionadas con su coherencia, aplicabilidad y estructura operativa.

Posteriormente, se procedió al análisis de las respuestas obtenidas y a la sistematización de las observaciones emitidas por los expertos. En función de los comentarios recibidos, se realizaron ajustes orientados a mejorar determinados procedimientos y clarificar algunos componentes del sistema.

En la segunda ronda, se remitió nuevamente el instrumento a los expertos, incorporando las precisiones derivadas de la fase anterior. Esta etapa tuvo como finalidad verificar el nivel de aceptación del sistema ajustado y determinar el grado de consenso alcanzado tras la incorporación de las recomendaciones técnicas.

A continuación, se presentan los cuadros correspondientes a cada pregunta evaluada, mostrando los resultados obtenidos en ambas rondas del método Delphi, así como el nivel de aprobación alcanzado en cada caso.

7.5.1. Bloque 1: Objetivo y justificación de la investigación

Pregunta 1.

¿Considera usted que el objetivo general de la investigación es claro, pertinente y coherente con la problemática abordada?

(Cuantifique su respuesta)

- ¿Qué aspectos del objetivo considera que podrían precisarse o reforzarse?
- ¿Recomendaría ajustar el enfoque del objetivo en función del contexto de proyectos bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor?

RONDA 1 (Fase 1):

Tabla 38

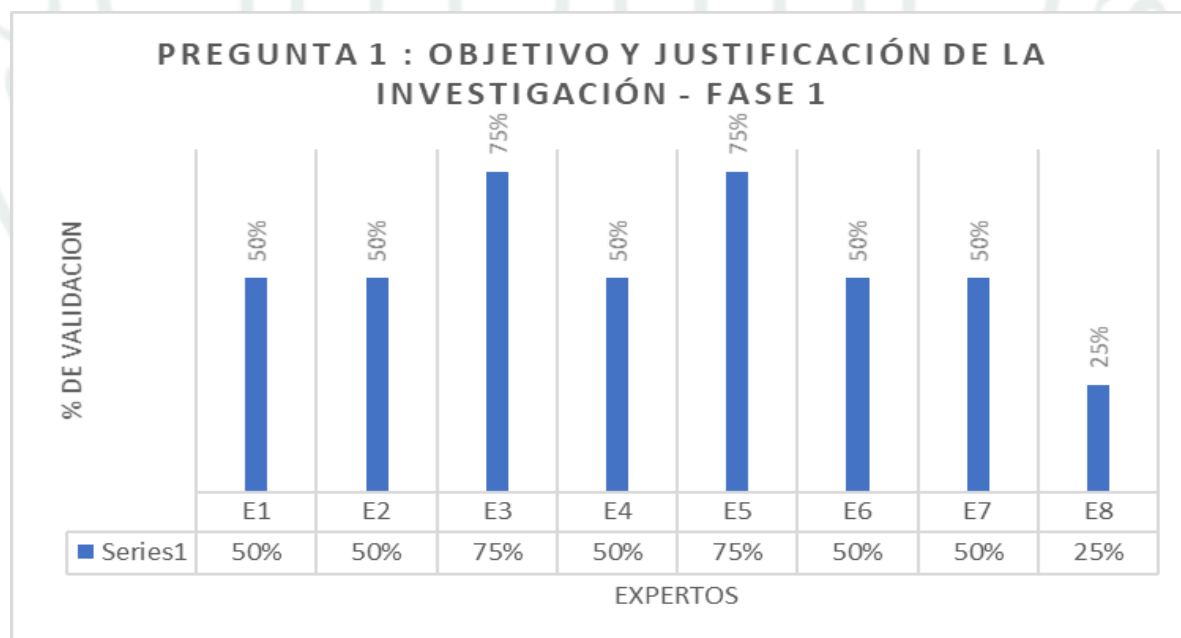
Evaluación del objetivo general de la investigación – Ronda 1 (Fase 1)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 1									60 %
0% (1)									
25% (2)								X	
50% (3)	X	X		X		X	X		
75% (4)			X		X				
100% (5)									

Nota: Distribución de las respuestas emitidas por los expertos respecto a la claridad, pertinencia y coherencia del objetivo general de la investigación en la primera ronda de evaluación.

Figura 107

Resultados porcentuales de la evaluación del objetivo general - Ronda 1 (Fase 1)



Nota: Representación gráfica del nivel de aceptación del objetivo general por parte de los expertos durante la primera fase de evaluación.

RONDA 2 (Fase 2):

Tabla 39

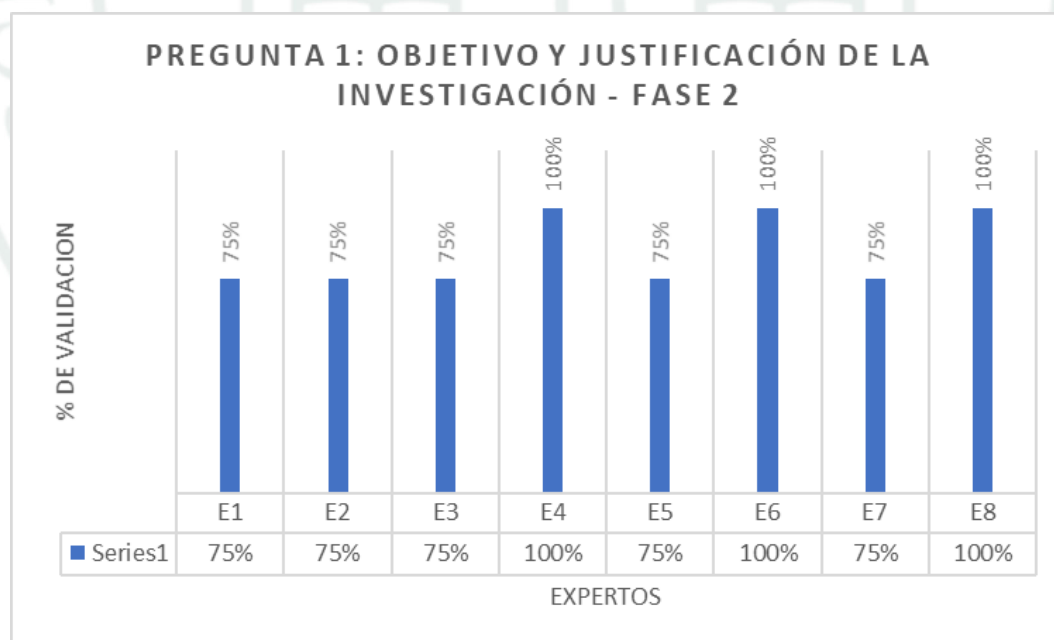
Evaluación del objetivo general de la investigación – Ronda 2 (Fase 2)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 2									84 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)									
75% (4)	X	X	X		X		X		
100% (5)				X		X		X	

Nota: Resultados obtenidos tras la segunda ronda de evaluación Delphi, donde se observa un mayor consenso de los expertos respecto al objetivo de la investigación.

Figura 108

Resultados porcentuales de la evaluación del objetivo general – Ronda 2 (Fase 2)



Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos en la segunda fase de evaluación.

Pregunta 2.

¿Está de acuerdo con la justificación presentada para el desarrollo del sistema de validación constructiva automatizada propuesto?

(Cuantifique su respuesta)

- ¿Qué elementos de la justificación considera más relevantes o mejor sustentados?
- ¿Existen aspectos que, a su criterio, deberían ampliarse o incorporarse para fortalecer la justificación del estudio?

RONDA 1 (Fase 1):

Tabla 40

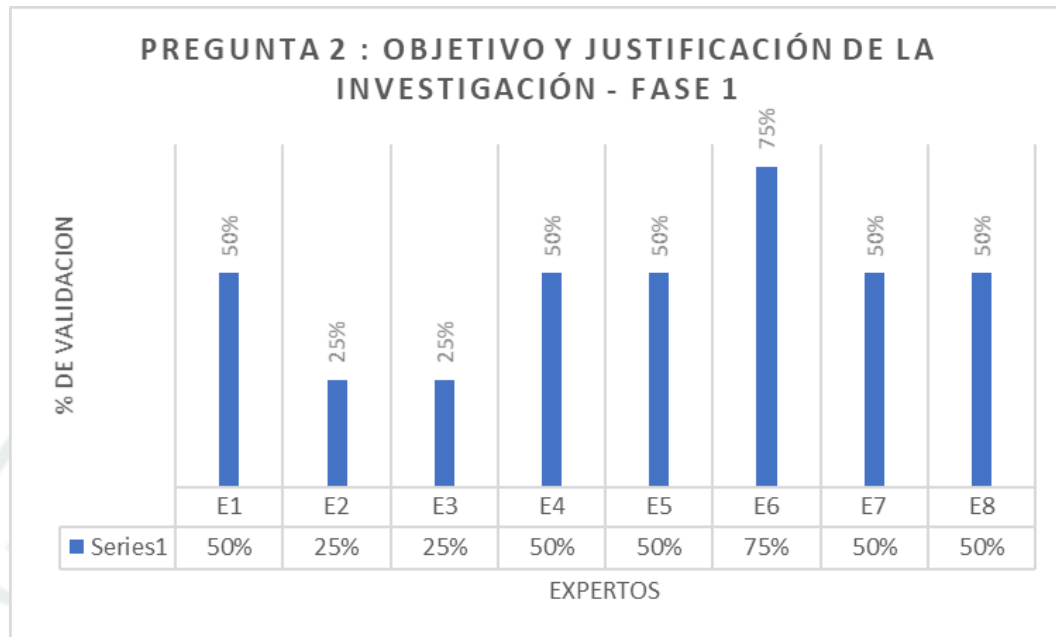
Evaluación de la justificación de la investigación – Ronda 1 (Fase 1)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 1									47 %
0% (1)									
25% (2)		X	X						
50% (3)	X			X	X		X	X	
75% (4)						X			
100% (5)									

Nota: Resultados de la valoración realizada por los expertos sobre la pertinencia y sustento de la justificación del estudio en la primera ronda de evaluación.

Figura 109

Resultados porcentuales de la evaluación de la justificación – Ronda 1 (Fase 1)



Nota: Representación gráfica del nivel de aceptación de la justificación del estudio según la opinión de los expertos.

RONDA 2 (Fase 2):

Tabla 41

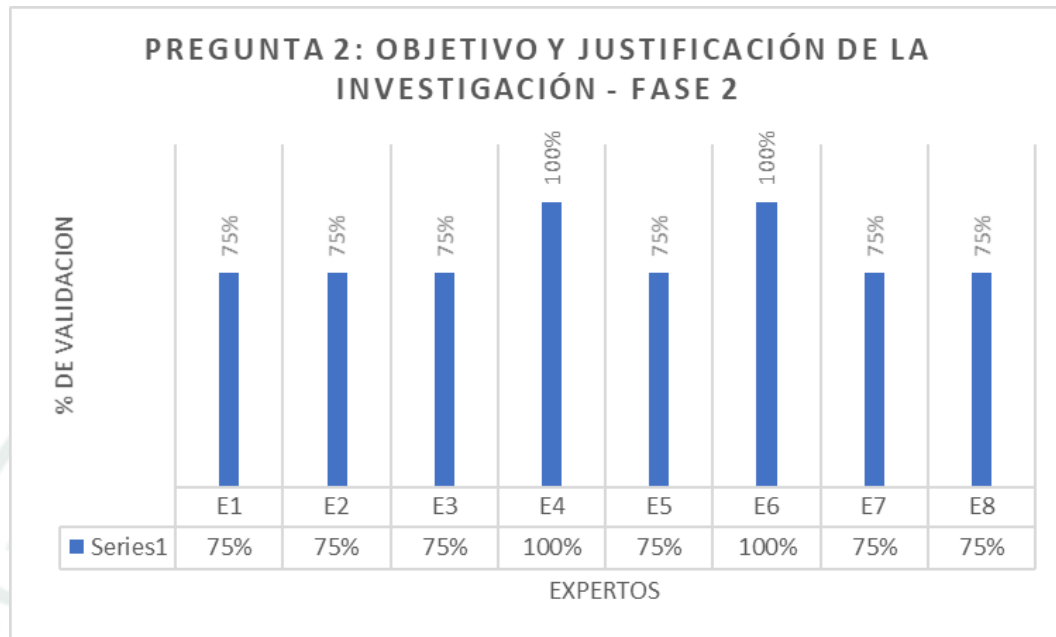
Evaluación de la justificación de la investigación – Ronda 2 (Fase 2)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 2									81 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)									
75% (4)	X	X	X		X		X	X	
100% (5)				X		X			

Nota: Resultados obtenidos en la segunda ronda Delphi, mostrando un mayor nivel de acuerdo entre los expertos respecto a la justificación de la investigación.

Figura 110

Resultados porcentuales de la evaluación de la justificación – Ronda 2 (Fase 2)



Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos tras la segunda ronda de evaluación.

7.5.2. Bloque 2: Alcance de la investigación

Pregunta 3.

¿Aprueba el alcance definido para la investigación, considerando su aplicación en proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor?

(Cuantifique su respuesta)

- ¿El alcance planteado le parece adecuado en términos técnicos y operativos?
- ¿Qué limitaciones adicionales considera importantes mencionar dentro del alcance del estudio?

RONDA 1 (Fase 1):

Tabla 42

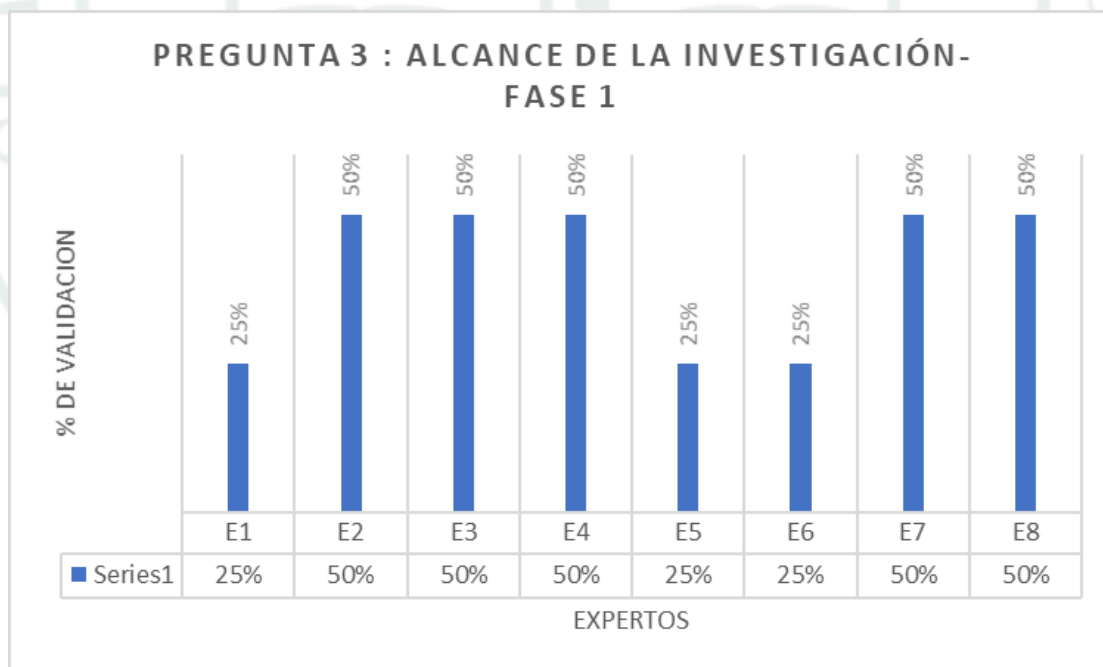
Evaluación del alcance de la investigación – Ronda 1 (Fase 1)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 1									41 %
0% (1)									
25% (2)	X				X	X			
50% (3)		X	X	X			X	X	
75% (4)									
100% (5)									

Nota: Distribución de las respuestas de los expertos respecto a la adecuación del alcance planteado para la investigación en la primera fase de evaluación.

Figura 111

Resultados porcentuales de la evaluación del alcance – Ronda 1 (Fase 1)



Nota: Representación gráfica del nivel de aceptación del alcance del estudio por parte de los expertos.

RONDA 2 (Fase 2):

Tabla 43

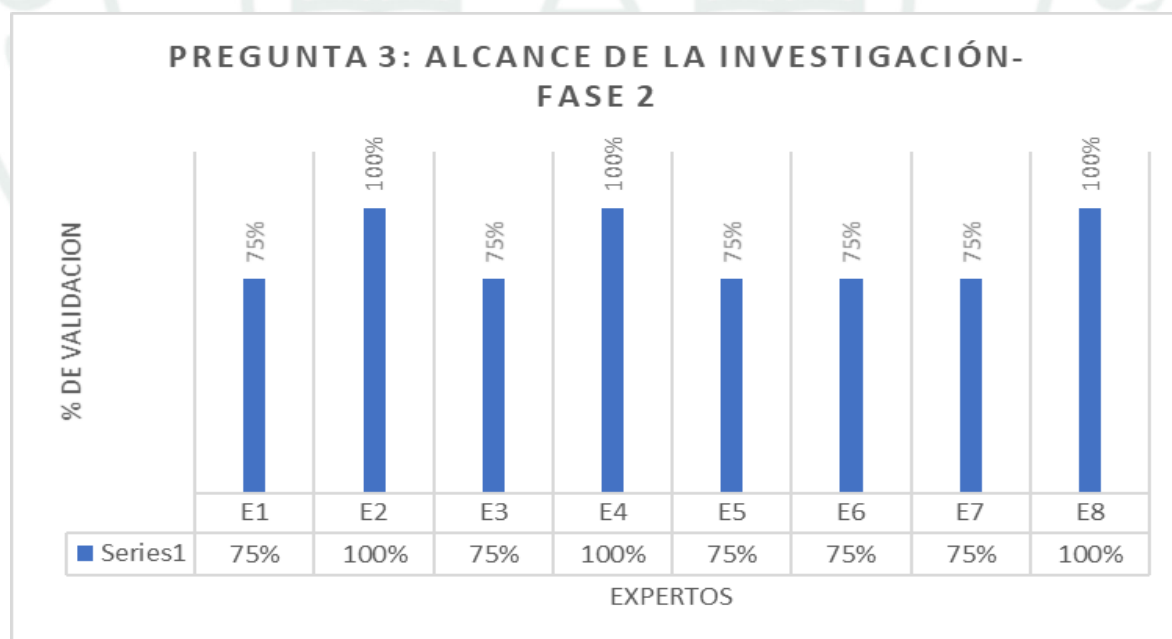
Evaluación del alcance de la investigación – Ronda 2 (Fase 2)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 2									84 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)									
75% (4)	X		X		X	X	X		
100% (5)		X		X				X	

Nota: Resultados obtenidos tras la segunda ronda Delphi, evidenciando un mayor consenso entre los expertos respecto al alcance del estudio.

Figura 112

Resultados porcentuales de la evaluación del alcance – Ronda 2 (Fase 2)



Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos sobre el alcance de la investigación.

7.5.3. Bloque 3: Metodología de la investigación

Pregunta 4.

¿Está de acuerdo con la metodología propuesta para el desarrollo y validación del sistema planteado en la investigación?

(Cuantifique su respuesta)

- ¿Considera que la metodología es adecuada para el tipo de problema abordado?
- ¿Qué ajustes metodológicos sugeriría para mejorar la aplicabilidad del sistema?

RONDA 1 (Fase 1):

Tabla 44

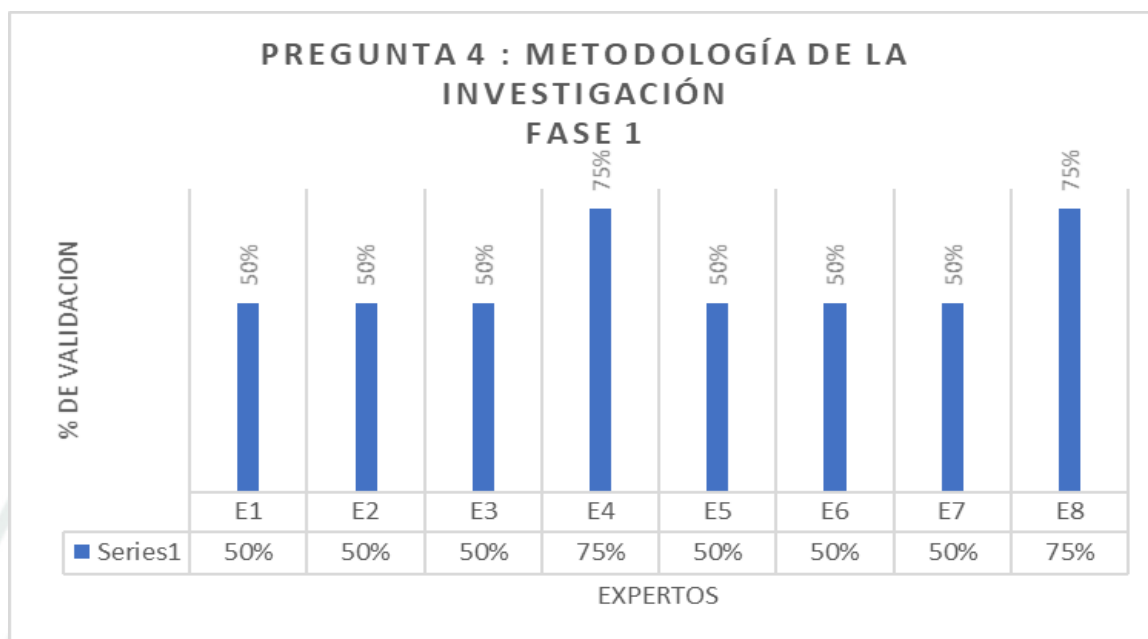
Evaluación de la metodología de la investigación – Ronda 1 (Fase 1)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 1									56 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)	X	X	X		X	X	X		
75% (4)				X				X	
100% (5)									

Nota: Resultados de la evaluación inicial realizada por los expertos sobre la pertinencia de la metodología propuesta para el desarrollo del estudio.

Figura 113

Resultados porcentuales de la evaluación de la metodología – Ronda 1 (Fase 1)



Nota: Representación gráfica del nivel de aceptación de la metodología propuesta por parte de los expertos.

RONDA 2 (Fase 2):

Tabla 45

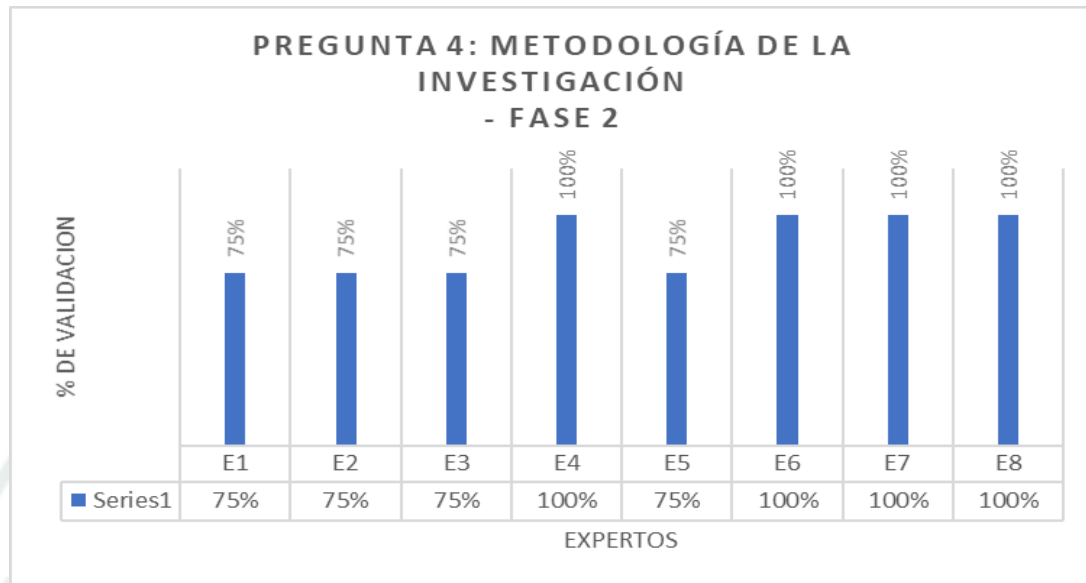
Evaluación de la metodología de la investigación – Ronda 2 (Fase 2)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 2									88%
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)									
75% (4)	X	X	X		X				
100% (5)				X		X	X	X	

Nota: Resultados obtenidos en la segunda fase Delphi, evidenciando un mayor nivel de acuerdo entre los expertos respecto a la metodología planteada.

Figura 114

Resultados porcentuales de la evaluación de la metodología – Ronda 2 (Fase 2)



Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos respecto a la metodología del estudio.

Pregunta 5.

¿Está de acuerdo con los criterios utilizados para la selección del proyecto de estudio sobre el cual se implementa y valida el sistema propuesto?

(Cuantifique su respuesta)

- ¿Los criterios de selección le parecen representativos del contexto real de los proyectos de Núcleo Ejecutor?
- ¿Recomendaría incorporar otros criterios para fortalecer la selección del caso de estudio?

RONDA 1 (Fase 1):

Tabla 46

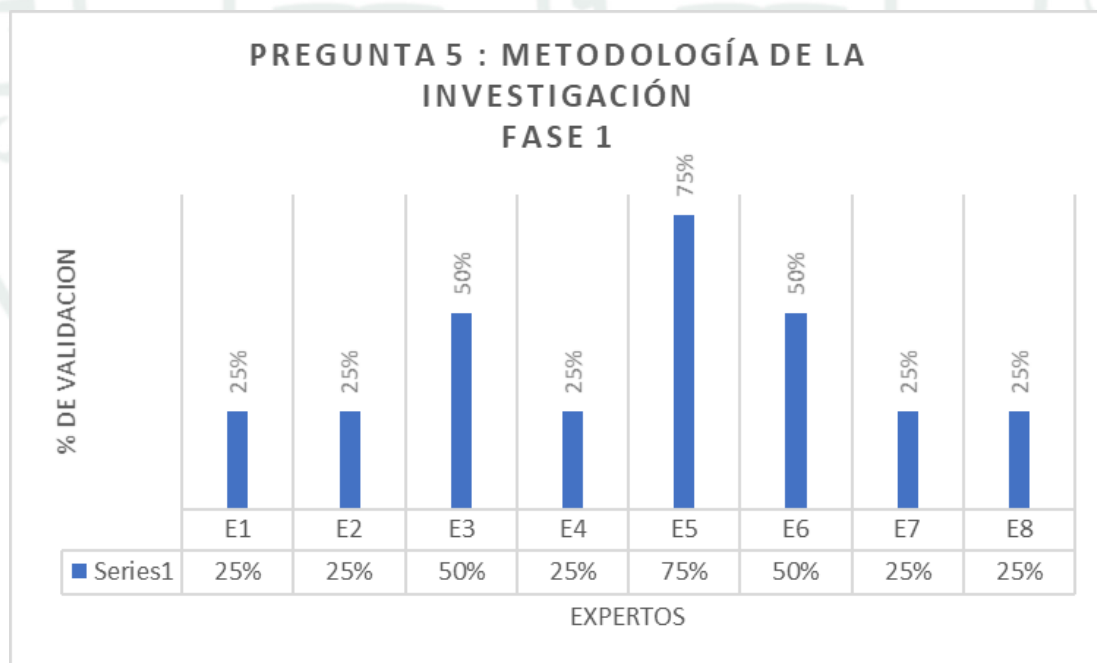
Evaluación de los criterios de selección del caso de estudio – Ronda 1 (Fase 1)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 1									38 %
0% (1)									
25% (2)	X	X		X			X	X	
50% (3)			X			X			
75% (4)					X				
100% (5)									

Nota: Distribución de las respuestas de los expertos respecto a los criterios utilizados para la selección del proyecto de estudio en la primera fase de evaluación.

Figura 115

Resultados porcentuales de los criterios de selección del caso de estudio – Ronda 1 (Fase 1)



Nota: Representación gráfica del nivel de aceptación de los criterios de selección del proyecto de estudio.

RONDA 2 (Fase 2):

Tabla 47

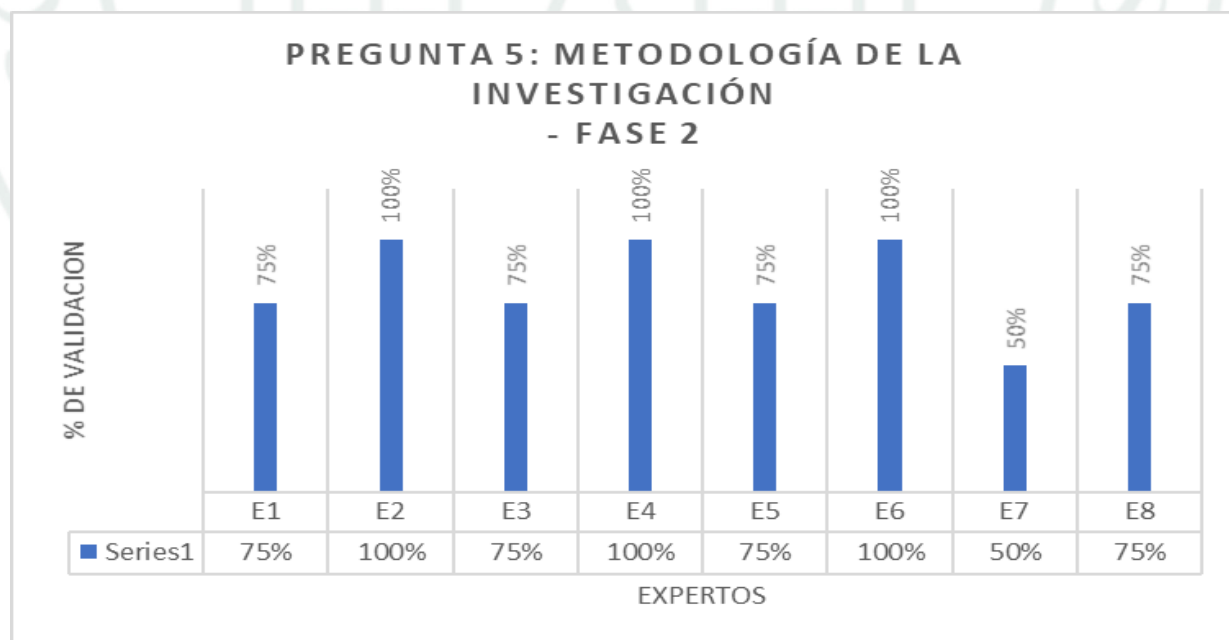
Evaluación de los criterios de selección del caso de estudio – Ronda 2 (Fase 2)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 2									81 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)							X		
75% (4)	X		X		X			X	
100% (5)		X		X		X			

Nota: Resultados obtenidos en la segunda ronda Delphi, evidenciando un mayor consenso respecto a la pertinencia de los criterios de selección del caso de estudio.

Figura 116

Resultados porcentuales de los criterios de selección del caso de estudio – Ronda 2 (Fase 2)



Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos sobre los criterios de selección.

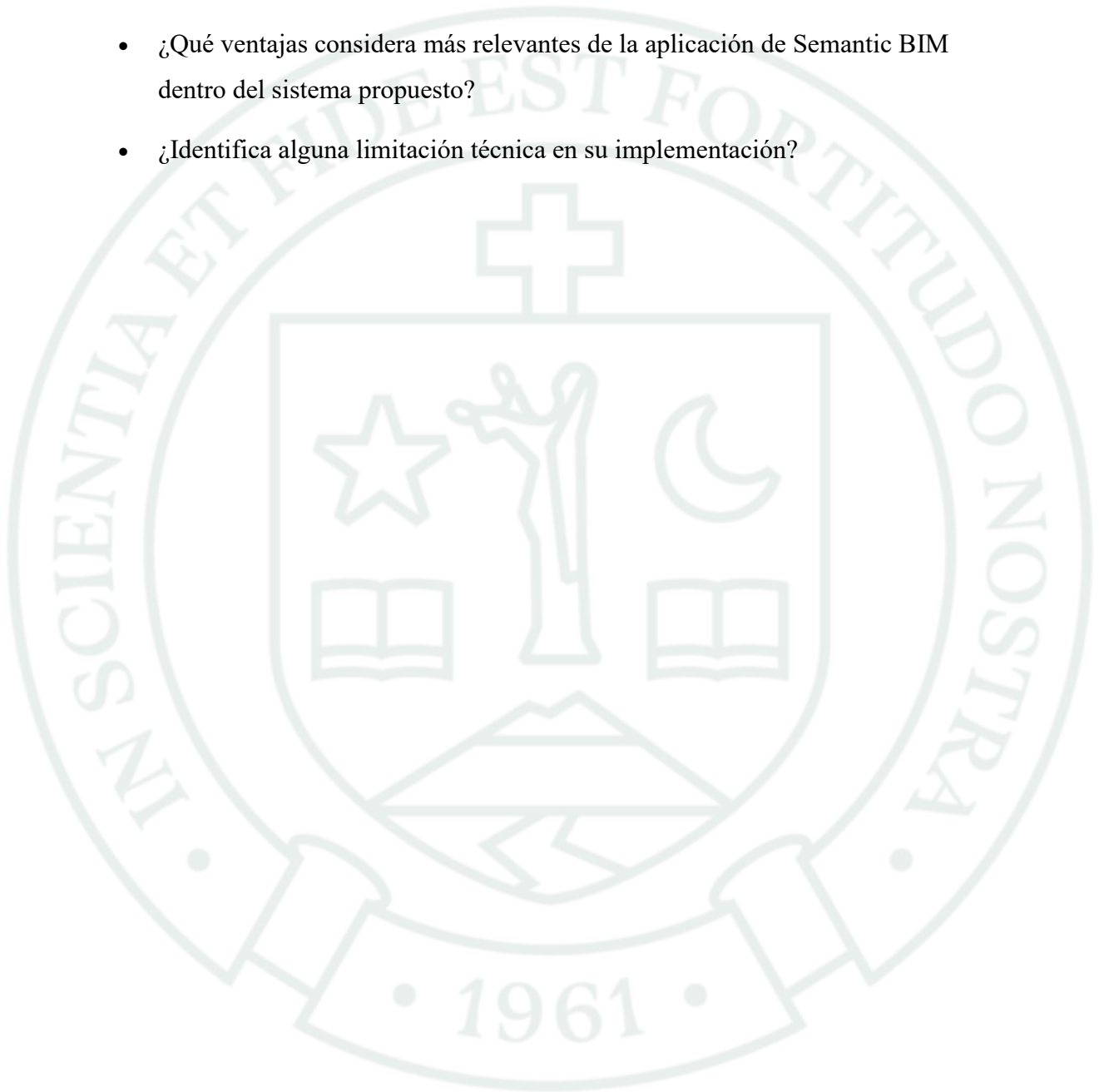
7.5.4. Bloque 4: Sistema propuesto basado en Semantic BIM y Blockchain

Pregunta 6.

¿Está de acuerdo con la integración de Semantic BIM como herramienta para la validación técnica y detección de inconsistencias constructivas?

(Cuantifique su respuesta)

- ¿Qué ventajas considera más relevantes de la aplicación de Semantic BIM dentro del sistema propuesto?
- ¿Identifica alguna limitación técnica en su implementación?



RONDA 1 (Fase 1):

Tabla 48

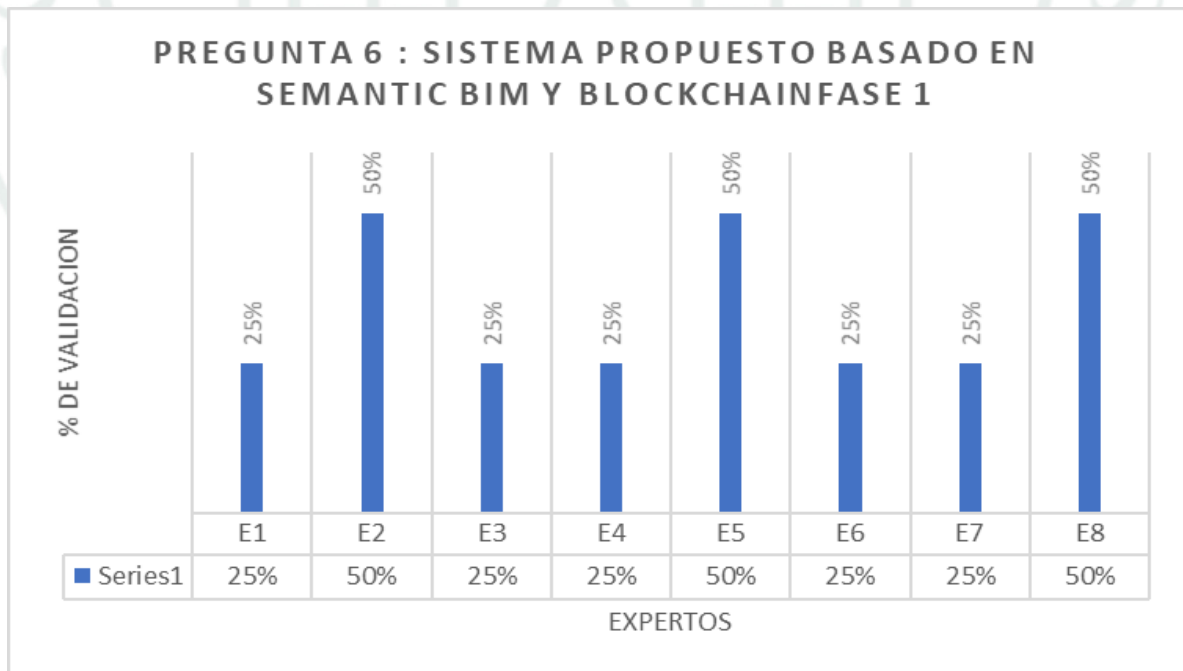
Evaluación de la integración de Semantic BIM en el sistema propuesto – Ronda 1 (Fase 1)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 1									34 %
0% (1)									
25% (2)	X		X	X		X	X		
50% (3)		X			X			X	
75% (4)									
100% (5)									

Nota: Resultados de la valoración inicial de los expertos sobre la integración de Semantic BIM como herramienta para la validación técnica del sistema propuesto.

Figura 117

Resultados porcentuales de la integración de Semantic BIM – Ronda 1 (Fase 1)



Nota: Representación gráfica del nivel de aceptación de la integración de Semantic BIM en el sistema propuesto.

RONDA 2 (Fase 2):

Tabla 49

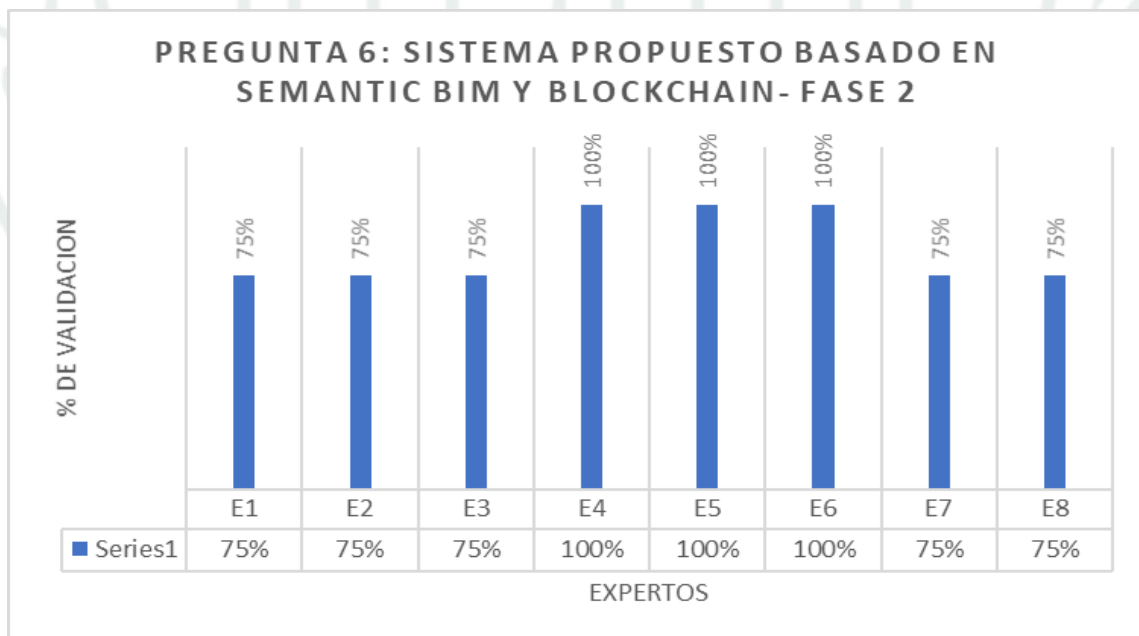
Evaluación de la integración de Semantic BIM en el sistema propuesto – Ronda 2 (Fase 2

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 2									84 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)									
75% (4)	X	X	X				X	X	
100% (5)				X	X	X			

Nota: Resultados obtenidos en la segunda fase Delphi, evidenciando un mayor consenso sobre la pertinencia de integrar Semantic BIM en el sistema propuesto.

Figura 118

Resultados porcentuales de la integración de Semantic BIM – Ronda 2 (Fase 2)



Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos sobre la integración de Semantic BIM.

Pregunta 7.

¿Está de acuerdo con la incorporación de la tecnología Blockchain como mecanismo para mejorar la trazabilidad, transparencia y confiabilidad de la información del proyecto?

(Cuantifique su respuesta)

¿Qué aspectos de la trazabilidad considera que se ven más fortalecidos con esta integración?

¿Existen riesgos o dificultades que deberían ser considerados en su aplicación práctica?

RONDA 1 (Fase 1):

Tabla 50

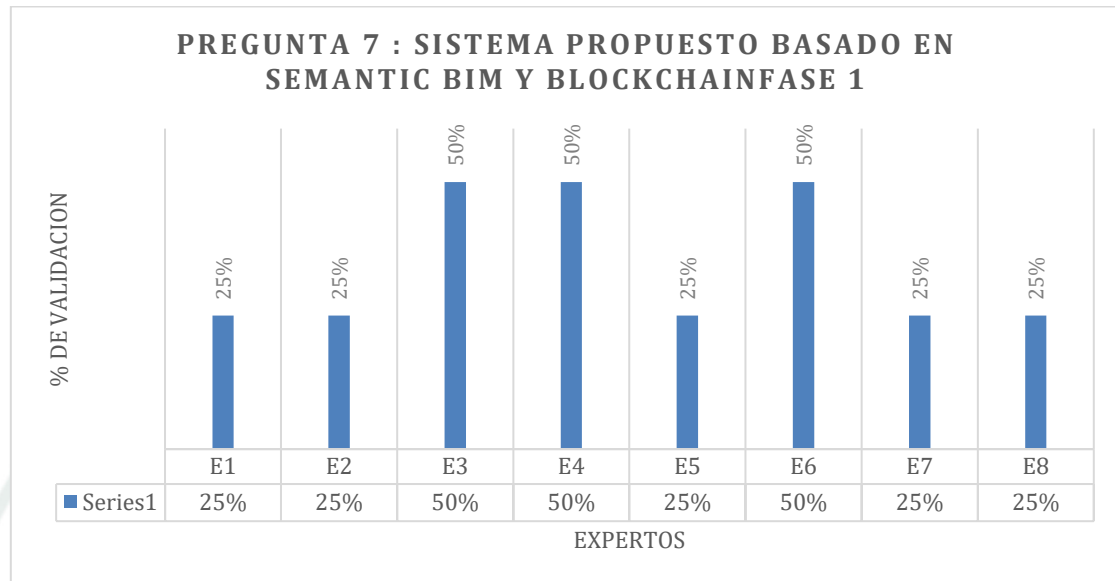
Evaluación de la integración de Blockchain en el sistema propuesto – Ronda 1 (Fase 1)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 1									65 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)		X		X		X	X	X	
75% (4)	X		X		X				
100% (5)									

Nota: Resultados de la evaluación realizada por los expertos sobre la incorporación de la tecnología Blockchain para mejorar la trazabilidad y transparencia de la información.

Figura 119

Resultados porcentuales de la integración de blockchain – Ronda 1 (Fase 1)



Nota: Representación gráfica del nivel de aceptación de la tecnología blockchain en el sistema propuesto.

RONDA 2 (Fase 2):

Tabla 51

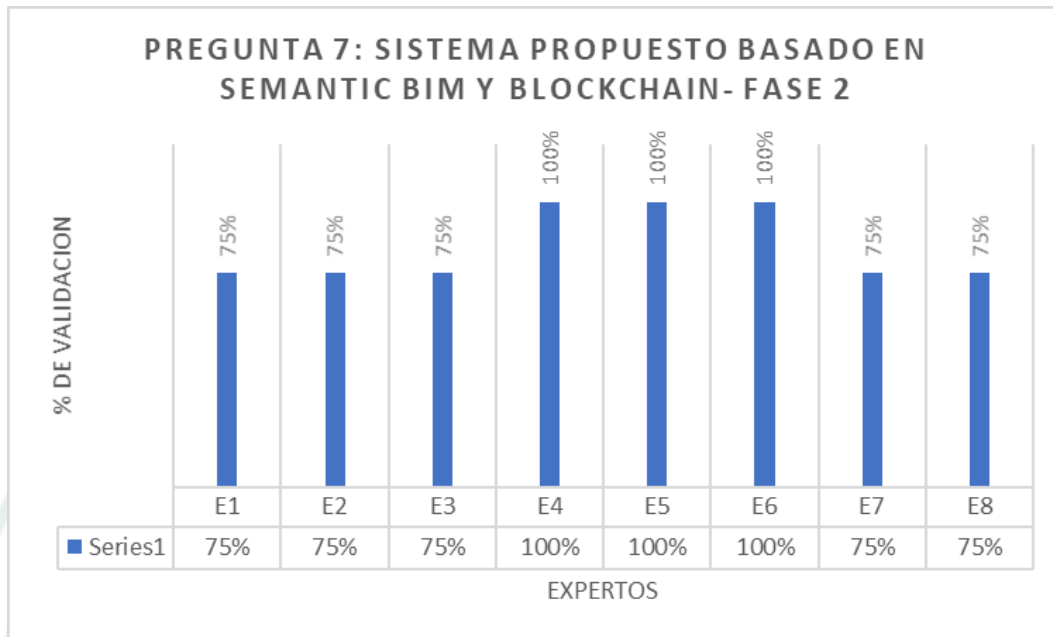
Evaluación de la integración de blockchain en el sistema propuesto – Ronda 2 (Fase 2)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 2									81 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)									
75% (4)	X	X	X	X	X			X	
100% (5)						X	X		

Nota: Resultados obtenidos en la segunda ronda Delphi, mostrando un mayor consenso respecto al uso de blockchain en el sistema propuesto.

Figura 120

Resultados porcentuales de la integración de blockchain – Ronda 2 (Fase 2)



Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos respecto a la integración de blockchain.

Pregunta 8.

¿Considera adecuada la estructura general y la secuencia de los procesos que conforman el sistema de validación constructiva automatizada propuesto?

(Cuantifique su respuesta)

- ¿La secuencia de validación le resulta clara y lógica?
- ¿Qué mejoras propondría en los flujos o etapas del sistema?

RONDA 1 (Fase 1):

Tabla 52

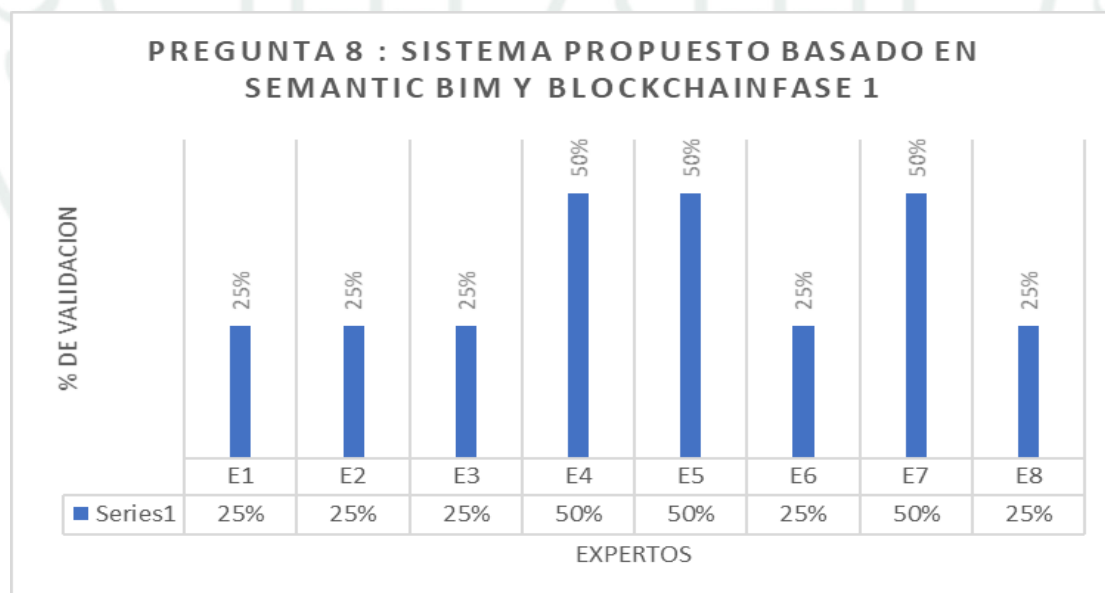
Evaluación de la estructura del sistema de validación constructiva – Ronda 1 (Fase 1)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 1									34 %
0% (1)									
25% (2)	X	X	X			X		X	
50% (3)				X	X		X		
75% (4)									
100% (5)									

Nota: Resultados de la evaluación inicial realizada por los expertos sobre la estructura general y secuencia de procesos del sistema propuesto.

Figura 121

Resultados porcentuales de la evaluación de la estructura del sistema – Ronda 1 (Fase 1)



Nota: Representación gráfica del nivel de aceptación de la estructura del sistema de validación constructiva propuesto.

RONDA 2 (Fase 2):

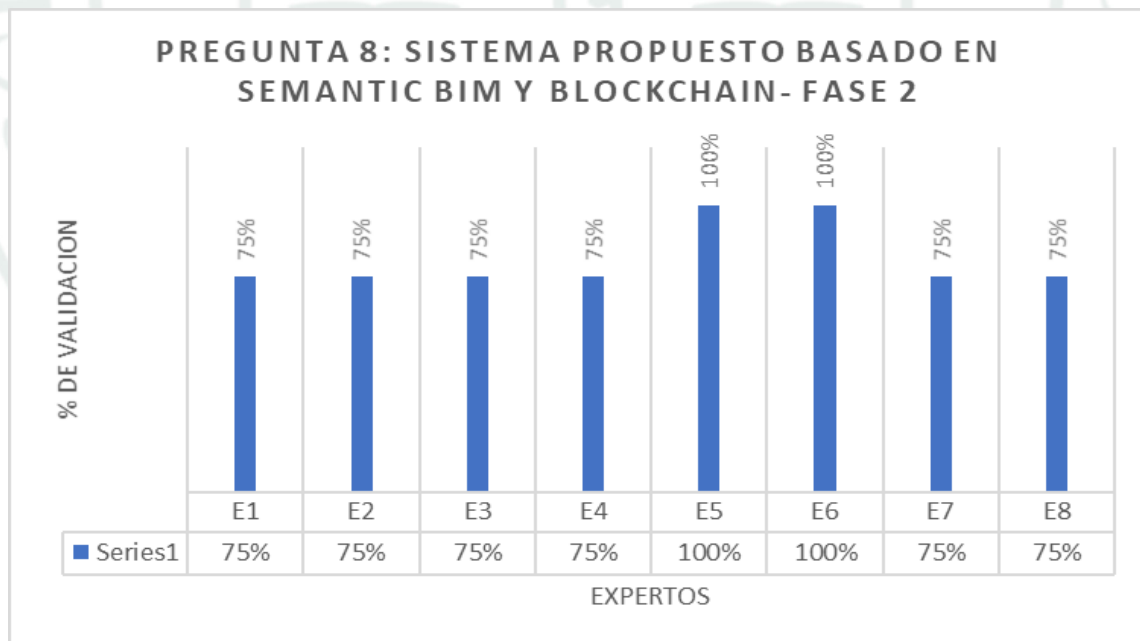
Tabla 53*Evaluación de la estructura del sistema de validación constructiva – Ronda 2 (Fase 2)*

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 2									81 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)									
75% (4)	X	X	X	X			X	X	
100% (5)					X	X			

Nota: Resultados obtenidos en la segunda fase Delphi, evidenciando un mayor nivel de acuerdo respecto a la estructura del sistema propuesto.

Figura 122

Resultados porcentuales de la evaluación de la estructura del sistema – Ronda 2 (Fase 2)



Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos respecto a la estructura del sistema.

Pregunta 9.

¿Está de acuerdo con que el sistema propuesto contribuya a mejorar la gestión, control y toma de decisiones en proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor y otros proyectos?

(Cuantifique su respuesta)

- ¿En qué etapa del proyecto considera que el sistema genera mayor valor?
- ¿Qué otro beneficio cree que podría aportar el sistema en este tipo de proyectos?

RONDA 1 (Fase 1):

Tabla 54

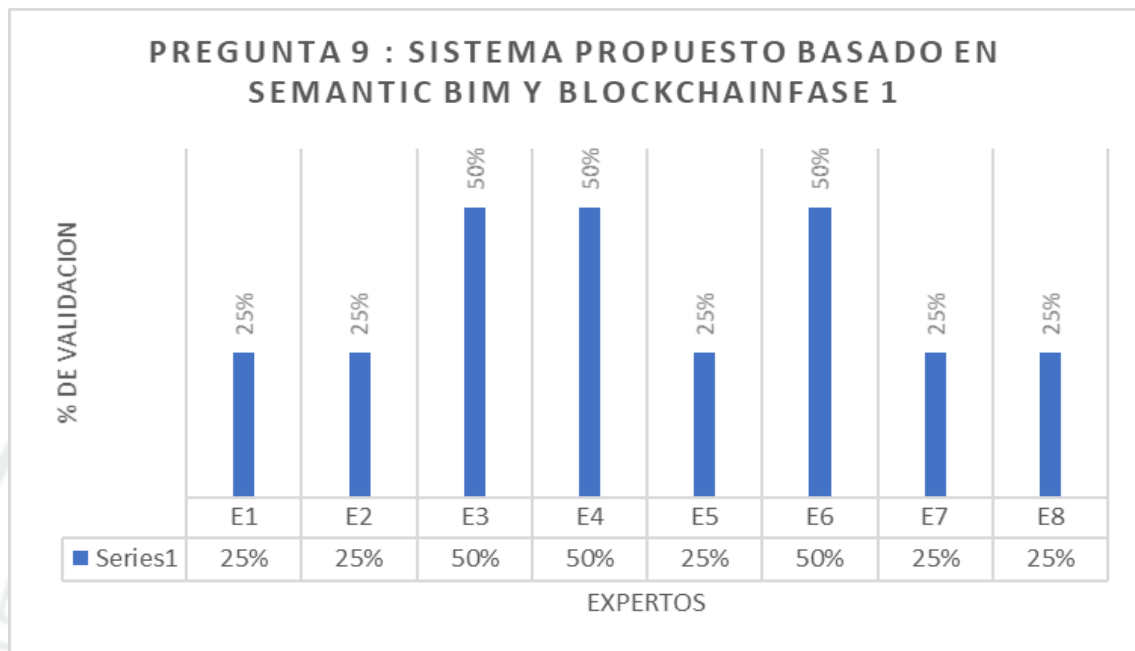
Evaluación del aporte del sistema propuesto a la gestión de proyectos – Ronda 1 (Fase 1)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 1									34 %
0% (1)									
25% (2)	X	X			X		X	X	
50% (3)			X	X		X			
75% (4)									
100% (5)									

Nota: Resultados de la evaluación inicial de los expertos sobre la contribución del sistema propuesto a la gestión, control y toma de decisiones en proyectos.

Figura 123

Resultados porcentuales del aporte del sistema a la gestión de proyectos – Ronda 1 (Fase 1)



Nota: Representación gráfica del nivel de aceptación del aporte del sistema propuesto a la gestión de proyectos.

RONDA 2 (Fase 2):

Tabla 55

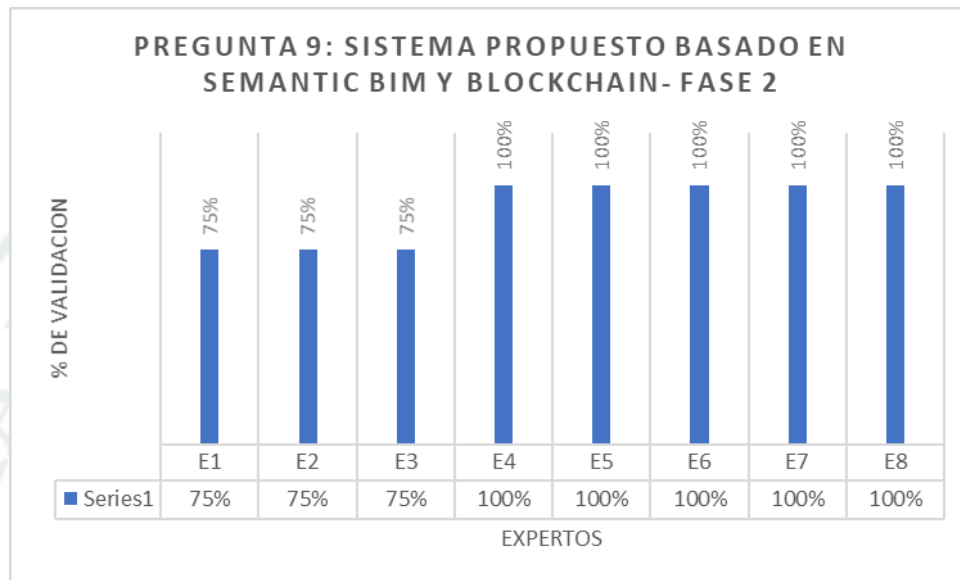
Evaluación del aporte del sistema propuesto a la gestión de proyectos – Ronda 2 (Fase 2)

%	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	Resultado
FASE 2									91 %
0% (1)									
25% (2)									
50% (3)									
75% (4)	X	X	X						
100% (5)				X	X	X	X	X	

Nota: Resultados obtenidos en la segunda ronda Delphi, evidenciando un alto nivel de consenso respecto al aporte del sistema propuesto.

Figura 124

*Resultados porcentuales del aporte del sistema a la gestión de proyectos – Ronda 2
(Fase 2)*

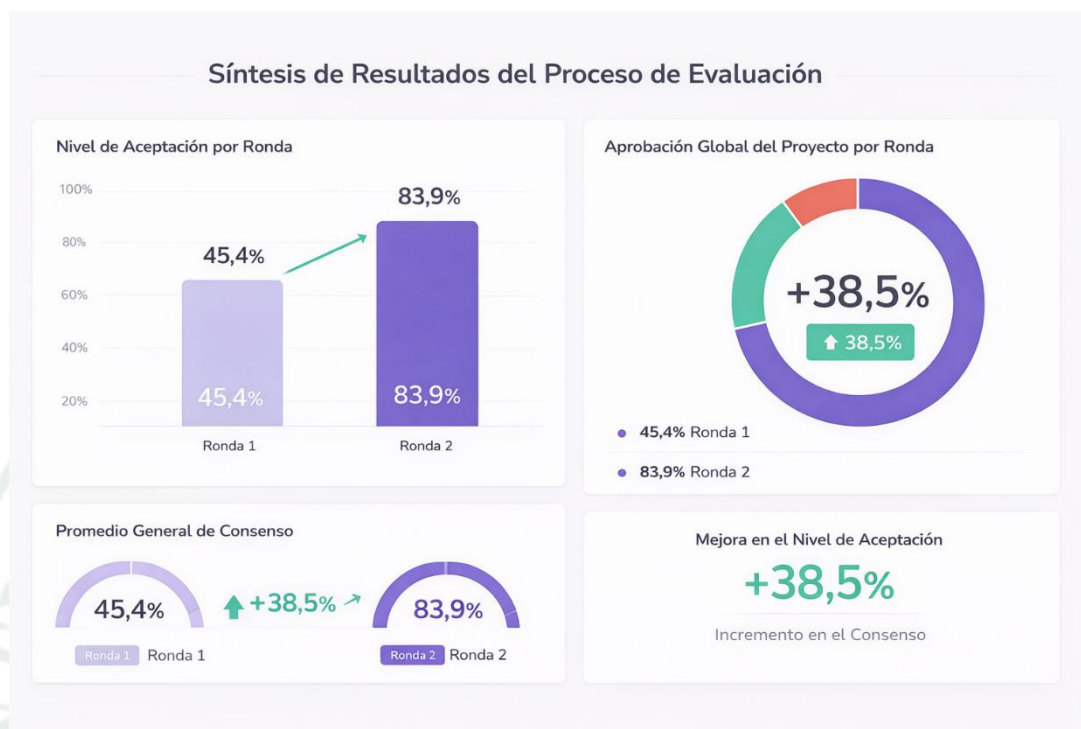


Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos respecto al aporte del sistema propuesto.

Una vez culminado el procesamiento y análisis de los resultados obtenidos a partir de las encuestas aplicadas a los expertos, se alcanzó un nivel de aceptación global superior al 80 %, el valor de aceptación acumulado en la primera ronda fue de un 45.4%, mientras que el valor en la segunda ronda de validación fue de 83.9% de aceptación, valor establecido que sobrepasa el valor mínimo para considerar validado el sistema de validación constructiva automatizada propuesto. En ese sentido, los resultados obtenidos permiten afirmar que el sistema presenta un alto grado de consenso y conformidad por parte de los especialistas consultados.

Figura 125

Nivel de aceptación de los expertos por pregunta en las rondas Delphi



Nota: La tabla presenta los porcentajes de aceptación obtenidos por cada pregunta evaluada en la primera (Ronda 1) y segunda (Ronda 2) aplicación del método Delphi. Los resultados evidencian un incremento significativo en el nivel de consenso entre los expertos tras la segunda ronda, como resultado de los ajustes realizados a la propuesta de investigación.

El nivel de aprobación alcanzado evidencia que los expertos consideran pertinente y viable la implementación del sistema, destacando principalmente su coherencia metodológica, la integración de Semantic BIM como soporte para la validación técnica de la información y el uso de Blockchain como mecanismo para fortalecer la trazabilidad y confiabilidad de los procesos constructivos en proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor.

Asimismo, las observaciones y comentarios brindados por los expertos permitieron realizar ajustes y precisiones al sistema propuesto, contribuyendo a mejorar su estructura, claridad y aplicabilidad práctica. Este proceso de retroalimentación fortaleció el desarrollo del sistema y permitió consolidar una propuesta alineada con las necesidades reales de gestión y control de los proyectos analizados.

En consecuencia, al haberse superado el umbral mínimo de aceptación establecido, se concluye que el sistema de validación constructiva automatizada

integrando Semantic BIM y Blockchain queda validado desde el juicio de expertos, cumpliendo con los objetivos planteados en la presente investigación.

7.6. Análisis de resultados

7.6.1. Análisis de beneficios

La implementación del sistema desarrollado en esta investigación integra tres componentes tecnológicos principales: validación semántica de modelos BIM, visualización analítica mediante Power BI y registro de resultados mediante un mecanismo de encadenamiento criptográfico inspirado en la arquitectura Blockchain. La combinación de estas herramientas permite mejorar significativamente la gestión de la información técnica asociada al control estructural de proyectos de construcción.

Entre los principales beneficios identificados se encuentran la automatización de los procesos de verificación, la reducción de errores humanos en la revisión técnica, el fortalecimiento de la trazabilidad de la información y la generación de registros verificables que garantizan la integridad de los resultados de validación.

Asimismo, la integración con herramientas de análisis de datos permite transformar los resultados de validación en información visual interpretable, facilitando la toma de decisiones por parte de los responsables técnicos y administrativos del proyecto.

7.6.2. Comparación de trazabilidad antes y después del sistema

Antes de la implementación del sistema propuesto, los procesos de revisión y validación de elementos estructurales en modelos BIM se realizaban principalmente mediante revisiones manuales o verificaciones aisladas, lo cual dificultaba el seguimiento histórico de modificaciones y la identificación de responsabilidades técnicas.

Con la implementación del sistema desarrollado, los resultados de validación se registran de manera estructurada y secuencial, permitiendo generar un historial verificable de las evaluaciones realizadas. Cada registro incluye información relevante del proceso de validación y se integra dentro de un esquema de encadenamiento criptográfico que permite verificar la integridad de los datos almacenados.

Este enfoque mejora sustancialmente la trazabilidad de la información técnica, ya que cualquier modificación en los registros puede ser detectada mediante la verificación de las huellas criptográficas generadas.

7.6.3. Beneficios técnicos, económicos y de gestión pública

Desde el punto de vista técnico, el sistema permite automatizar la validación de reglas lógicas aplicadas a elementos estructurales como cimientos corridos, columnas y muros portantes dentro de modelos BIM. Esto contribuye a mejorar la calidad de los procesos de revisión técnica y reduce la probabilidad de inconsistencias en el diseño estructural.

En términos económicos, la solución propuesta presenta ventajas asociadas a la reducción de tiempos de revisión, disminución de reprocesos y optimización del uso de recursos humanos especializados.

En el ámbito de la gestión pública, la implementación de mecanismos de registro inmutable de resultados contribuye a fortalecer la transparencia y la confiabilidad de los procesos de supervisión técnica, particularmente en proyectos ejecutados bajo esquemas de administración pública o programas de inversión descentralizada.

7.6.4. Impacto potencial en la modalidad de Núcleo Ejecutor.

La modalidad de Núcleo Ejecutor se caracteriza por la gestión descentralizada de proyectos de inversión pública a nivel regional o local. En este contexto, la disponibilidad de herramientas que permitan mejorar el control técnico y la trazabilidad de la información resulta especialmente relevante.

El sistema desarrollado puede contribuir a fortalecer los mecanismos de supervisión técnica en proyectos ejecutados bajo esta modalidad, al proporcionar registros verificables de los resultados de validación estructural y facilitar el seguimiento del cumplimiento de criterios técnicos establecidos.

Asimismo, el uso de paneles de visualización analítica permite que los responsables del proyecto puedan interpretar rápidamente los resultados de validación y tomar decisiones informadas durante las distintas etapas del proceso constructivo.

7.6.5. Análisis de limitaciones

A pesar de los beneficios identificados, la solución desarrollada presenta ciertas limitaciones asociadas principalmente a su alcance de implementación y a las características de la programación tecnológica empleada.

El sistema fue concebido como un entorno orientado a demostrar la viabilidad de integrar la validación BIM, el análisis de datos y el registro criptográfico de resultados. En este sentido, la arquitectura implementada no corresponde a una red blockchain pública, sino a una red local, lo que permite un mayor control del entorno, reducción de costos operativos y facilidad de implementación en contextos académicos y profesionales.

Asimismo, la implementación del sistema en la modalidad de Núcleo Ejecutor puede verse condicionada por las características del entorno en el que se desarrollan estos proyectos, los cuales suelen presentar limitaciones en infraestructura tecnológica. En dichos contextos, pueden existir restricciones relacionadas con el acceso a conectividad estable a internet, disponibilidad de equipos informáticos adecuados y uso de plataformas digitales especializadas, lo que podría dificultar la aplicación del sistema en tiempo real durante la ejecución de la obra.

Adicionalmente, la disponibilidad de personal capacitado en el uso de herramientas digitales puede ser limitada, lo que representa una barrera para la adopción efectiva del sistema propuesto. En este sentido, su implementación requerirá estrategias complementarias de capacitación, adecuación tecnológica y una progresiva digitalización de los procesos constructivos.

Estas condiciones deben ser interpretadas como parte del alcance metodológico de la investigación y del contexto de aplicación, y no como limitaciones estructurales del enfoque propuesto

7.6.6. Restricciones tecnológicas, normativas o de adopción institucional.

La implementación de tecnologías basadas en blockchain dentro del sector construcción todavía se encuentra en una etapa inicial de adopción, lo que puede generar ciertas restricciones asociadas a la disponibilidad de infraestructura tecnológica, conocimiento especializado y marcos normativos específicos.

En el caso de esta investigación, la solución desarrollada corresponde a una programación diseñada para comprobar los principios básicos de encadenamiento criptográfico, integridad de datos e inmutabilidad en un entorno controlado.

Por esta razón, la arquitectura implementada no corresponde a una red blockchain pública de alcance global. En cambio, se trata de una implementación local orientada a validar la aplicabilidad de los principios estructurales de blockchain en el registro de resultados de validación estructural provenientes de modelos BIM.

Este enfoque permite mantener control total sobre la arquitectura del sistema, mejorar la eficiencia computacional al no requerir procesos de minería ni validación distribuida, reducir costos operativos y proteger la información técnica dentro de un entorno institucional delimitado.

La arquitectura desarrollada incorpora los elementos fundamentales de una cadena de bloques, tales como:

- Encadenamiento mediante hash del bloque anterior.
- Generación de huellas criptográficas mediante el algoritmo SHA-256.
- Registro secuencial de la información validada.
- Verificación determinística de integridad de los datos.

En este sentido, la delimitación adoptada responde a una adecuación metodológica al contexto real de aplicación, permitiendo demostrar que los principios criptográficos de blockchain pueden aplicarse eficazmente en sistemas de gestión técnica a escala local.

7.6.7. Observaciones para mejoras futuras.

A partir del análisis del sistema y de las posibilidades de aplicación en entornos reales de gestión de proyectos, se identifican diversas oportunidades de mejora que podrían desarrollarse en investigaciones futuras.

Entre las principales líneas de mejora se encuentran la ampliación del conjunto de reglas lógicas de validación estructural, la integración con plataformas BIM colaborativas, la implementación de redes blockchain de tipo consorcio para entornos institucionales y el desarrollo de interfaces de consulta orientadas a distintos perfiles de usuario.

Asimismo, futuras investigaciones podrían explorar la integración de contratos inteligentes para automatizar procesos de verificación técnica y auditoría digital dentro de sistemas de gestión de proyectos de construcción.

7.7. Integración de resultados del diagnóstico con el sistema desarrollado

Con el objetivo de comprender las principales dificultades presentes en la gestión de proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor del programa Cuna Más, se realizaron entrevistas a supervisores de obra con experiencia en este tipo de intervenciones.

A partir del análisis de las respuestas obtenidas, se desarrolló un proceso de codificación cualitativa que permitió identificar diversas categorías asociadas a problemas recurrentes en la elaboración, control y seguimiento de los expedientes técnicos y modelos de información del proyecto.

Estas categorías reflejan aspectos como errores técnicos en los expedientes, dificultades en la compatibilización entre especialidades, limitaciones en el control técnico de materiales, así como problemas relacionados con la trazabilidad y confiabilidad de la información documental.

Sobre la base de este diagnóstico, se planteó el desarrollo de un sistema de validación constructiva automatizada mediante la integración de Semantic BIM y tecnología blockchain. El sistema propuesto busca abordar varias de las problemáticas identificadas, particularmente aquellas relacionadas con la verificación técnica automatizada de elementos estructurales, la estructuración semántica de la información dentro del modelo BIM y la trazabilidad de los procesos de validación.

En la siguiente tabla se presenta la relación entre las categorías identificadas de la fase de diagnóstico y los mecanismos mediante los cuales el sistema propuesto contribuye a mitigar dichas problemáticas.

Tabla 56

Relación entre el diagnóstico del problema y el sistema propuesto

Código	Categoría	Problema identificado	Relación con el sistema propuesto	Nivel de contribución
ENE	Experiencia en Núcleo Ejecutor	Diferencias en el conocimiento técnico del personal	El sistema proporciona validaciones automáticas que apoyan la toma de decisiones	Parcial

ETD	Errores técnicos y de diseño	Deficiencias en expedientes técnicos y compatibilización	Validación automática de parámetros estructurales mediante script PyRevit	Directa
IE	Incompatibilidad de especialidades	Falta de coordinación entre arquitectura, estructuras e instalaciones	Modelo BIM estructurado que permite revisión integrada	Parcial
ACF	Accesibilidad y confiabilidad de la información	Dificultad para acceder a documentación actualizada	Centralización de información técnica en el modelo BIM	Directa
DDCR	Desfase entre diseño y contexto real	Diferencias entre diseño proyectado y condiciones del entorno	Validación automatizada que permite detectar inconsistencias	Parcial
CTC	Control técnico de materiales	Limitaciones en el control de especificaciones técnicas	Verificación automática de parámetros estructurales	Directa
DRSD	Registro y seguimiento documental	Problemas en el seguimiento de modificaciones	Registro digital de verificaciones	Directa
MTC	Mecanismos de trazabilidad	Falta de trazabilidad en cambios de información	Blockchain de carácter local para registrar validaciones	Directa
GIV	Integridad y veracidad de la información	Dudas sobre autenticidad de información técnica	Uso local de blockchain para asegurar integridad de datos	Directa

BBC	Aplicación de BIM y blockchain	Necesidad de herramientas tecnológicas para mejorar control técnico	Integración Semantic BIM + Blockchain	Directa
-----	--------------------------------	---	---------------------------------------	---------

Nota: Representación porcentual del consenso alcanzado por los expertos respecto al aporte del sistema propuesto.

A partir del análisis presentado, se observa que el sistema de validación constructiva automatizada desarrollado mediante la integración de Semantic BIM y tecnología blockchain contribuye a abordar diversas problemáticas identificadas en el diagnóstico inicial.

En particular, el sistema permite mejorar el control técnico de los elementos estructurales mediante procesos de verificación automática implementados a través de scripts desarrollados en PyRevit, así como fortalecer la trazabilidad y confiabilidad de la información mediante el registro local de validaciones en una estructura basada en blockchain. Si bien algunas de las categorías identificadas en el diagnóstico corresponden a factores organizacionales o de gestión que trascienden el alcance del sistema propuesto, los resultados obtenidos evidencian que la incorporación de herramientas digitales basadas en BIM semántico y tecnologías de registro distribuido puede contribuir significativamente a mejorar los procesos de control técnico, gestión de información y transparencia en proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor.

CONCLUSIONES

- El análisis bibliográfico y el diagnóstico del contexto local, mediante entrevistas a profesionales de obra, evidenciaron deficiencias en la gestión de la información en proyectos bajo modalidad de Núcleo Ejecutor, principalmente relacionadas con la limitada trazabilidad de datos, inconsistencias entre documentos técnicos y dependencia de procesos manuales. En este contexto, se determinó que la integración de Semantic BIM y tecnología blockchain constituye una solución viable para estructurar la información de manera más eficiente y garantizar su registro seguro, trazable e inmutable, respondiendo a las problemáticas identificadas.
- La definición de la estructura semántica del modelo BIM permitió transformar el modelo tradicional en un sistema de información estructurado, mediante la incorporación de 19 atributos técnicos, 8 normativos y 3 funcionales, alineados con el Reglamento Nacional de Edificaciones, lo que posibilitó la estandarización y organización coherente de la información de los elementos constructivos. Asimismo, la formalización de una ontología en Protégé permitió establecer relaciones lógicas entre elementos, normas y resultados de validación, generando una base de conocimiento consistente que soporta procesos automatizados de verificación; este enfoque evidenció que el uso de Semantic BIM permite pasar de un modelo geométrico a un modelo inteligente, capaz de interpretar y validar información técnica de manera sistemática y replicable.
- El desarrollo del sistema de validación constructiva automatizada, implementado en entorno BIM mediante Autodesk Revit y programación en PyRevit, permitió establecer un flujo integral de verificación técnica orientado a la detección de inconsistencias estructurales, logrando identificar incumplimientos relevantes en reglas semánticas como la RL-04 en cimientos corridos (hasta 11.67 %), RL-07 en columnas (hasta 13.71 %) y RL-10 en muros portantes (37 %), lo que evidencia su capacidad para evaluar de manera objetiva el cumplimiento normativo por tipo de elemento. Adicionalmente, la estructuración de resultados en formatos interoperables (CSV y JSON) y su integración en un modelo conceptual basado en blockchain mediante funciones hash (SHA-256) permitió garantizar la trazabilidad, integridad e

inmutabilidad de la información, demostrando que la combinación de validación semántica y registro criptográfico constituye un sistema robusto, confiable y técnicamente viable para el control, seguimiento y auditoría de procesos constructivos.

- La evaluación del sistema mediante el método Delphi permitió validar su pertinencia, funcionalidad y aplicabilidad en la gestión de proyectos constructivos, alcanzando niveles de aceptación superiores al 80 % y un 91 % en su aporte a la gestión técnica, lo que evidencia un alto grado de consenso entre expertos respecto a su utilidad en la optimización de procesos de validación, control y trazabilidad de la información. Sin embargo, el análisis crítico de las respuestas permitió identificar mejoras asociadas a la disponibilidad de infraestructura tecnológica, el nivel de capacitación del personal técnico y la ausencia de lineamientos normativos específicos en el contexto peruano, lo que implica que, si bien el sistema presenta un impacto positivo, su implementación a escala real requiere un proceso progresivo de adopción, acompañado de fortalecimiento institucional y desarrollo de capacidades técnicas.
- La integración de Semantic BIM y tecnología blockchain en un sistema de validación constructiva automatizada permitió demostrar una mejora significativa en la trazabilidad, confiabilidad y gestión técnica de la información en proyectos ejecutados bajo la modalidad de Núcleo Ejecutor, mediante la estructuración semántica del modelo BIM, la validación automatizada de elementos estructurales y el registro inmutable de resultados en blockchain; los resultados obtenidos evidencian una reducción en inconsistencias técnicas, mayor control en la verificación normativa y una mejora en la transparencia de la información, siendo estos hallazgos respaldados por la validación mediante el método Delphi, lo que confirma la viabilidad técnica del sistema propuesto y permite validar la hipótesis de investigación..

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a entidades públicas y organizaciones que ejecutan proyectos bajo la modalidad de núcleo ejecutor implementar progresivamente sistemas basados en Semantic BIM y Blockchain, incorporando protocolos de gestión de información que garanticen la trazabilidad, confiabilidad y control técnico de los datos constructivos.
- Se recomienda a las unidades ejecutoras integrar herramientas digitales basadas en Blockchain para mejorar la trazabilidad e interoperabilidad de la información, priorizando su aplicación en proyectos con deficiencias en control técnico y gestión documental.
- Se recomienda a los modeladores BIM aplicar estructuras semánticas estandarizadas mediante ontologías (OWL 2LD), incorporando atributos técnicos, normativos y funcionales que permitan mejorar la organización y consistencia de la información en los modelos.
- Se recomienda implementar estructuras semánticas basados en Semantic BIM para dotar de información estructura para su validación estructural automática, garantizando trazabilidad de la información generada en entornos BIM.
- Se recomienda a las entidades involucradas capacitar al personal técnico y evaluar la infraestructura tecnológica antes de implementar el sistema propuesto, a fin de superar las limitaciones identificadas y optimizar su aplicación en proyectos constructivos.

REFERENCIAS

- Aguilar Zavaleta, J. P. (2024). Impacto social de las dificultades encontradas en la adopción del BIM en empresas constructoras en Perú. *Revista de Climatología*, 24, 1470–1479. <https://doi.org/10.59427/rcli/2024/v24cs.1470-1479>
- Alpala Camuendo, I. R. (2025). *Integración de Revit, Excel y Python mediante IFC para la gestión de datos en construcción* [Trabajo de titulación, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26593>
- Asencio, P. I. (2025, febrero 10). *BIM en Perú: El plan para vivienda, construcción y saneamiento*. *Konstruedu*. <https://konstruedu.com/blog/bim-en-peru-el-plan-para-vivienda-construccion-y-saneamiento>
- Associated General Contractors of America. (2022). *Expecting growth while coping with the lingering impacts of the pandemic: The 2022 construction hiring and business outlook*. https://www.agc.org/sites/default/files/Files/Communications/2022_Construction_Hiring_and_Business_Outlook_Report.pdf
- Autodesk. (2022). *The high cost of low trust*. <https://construction.autodesk.com/resources/guides/fmi-the-high-cost-of-low-trust/>
- Bakerman, B. (2025, marzo 8). *pyRevit 2025: Learn about the Revit automation with Python*. *ArchiLabs*. <https://archilabs.ai/posts/pyrevit-2025>
- Bardales, N. H., Correa, R. L., & Marín, R. (2023). Implementación de la metodología BIM en el Perú: Una revisión. *Revista Científica Pakamuros*, 9(2). <https://doi.org/10.37787/0b391g12>
- Basile, F., & Ferrara, L. (2023). Validation of industrial automation systems using a timed model of system requirements. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 31(1), 130–143. <https://doi.org/10.1109/TCST.2022.3173890>
- Behr, H. (2024, noviembre 6). *Núcleos ejecutores: El inicio de algo más*. Sudaca. <https://sudaca.pe/noticia/emprende/hans-behr-nucleos-ejecutores-el-inicio-de-algo-mas/>
- Bloch, T. (2022). Connecting research on semantic enrichment of BIM: Review of approaches, methods and possible applications. *Journal of Information Technology in Construction*, 27, 416–440. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.020>

- Bonilla Paredes, B. G. (2024). Identificación de vulnerabilidades de seguridad en base a la trazabilidad de información de un sistema transaccional: Una revisión sistemática de la literatura (SLR). *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*, 4(3), 2668–2682. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i3.570>
- Borkowski, A. S., & Maroń, M. (2024). Semantic enrichment of non-graphical data of a BIM model of a public building from the perspective of the facility manager. *Big Data and Cognitive Computing*, 8(10), 138. <https://www.mdpi.com/2504-2289/8/10/138>
- Brandín, R., & Abrishami, S. (2021). Information traceability platforms for asset data lifecycle: Blockchain-based technologies. *Smart and Sustainable Built Environment*. <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2021-0042>
- Brandín, R., & Abrishami, S. (2024). IoT-BIM and blockchain integration for enhanced data traceability in offsite manufacturing. *Automation in Construction*, 159, 105266. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105266>
- Celik, Y., Petri, I., & Rezgüi, Y. (2023). Integrating BIM and blockchain across construction lifecycle and supply chains. *Computers in Industry*, 148, 103886. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103886>
- Chung, I. B., Caldas, C., & Leite, F. (2022). An analysis of blockchain technology and smart contracts for building information modeling. *Journal of Information Technology in Construction*, 27, 972–990. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.047>
- Congreso de la República del Perú. (2005, mayo 25). *Ley N.º 28522, Ley del Sistema Nacional de Planeamiento Estratégico y del Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN)*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per83547.pdf>
- Contraloría General de la República. (2025). *Informe de obras públicas paralizadas en el territorio nacional a diciembre de 2025*. Gobierno del Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/9416533/7715417-informe-de-obras-publicas-paralizadas-en-el-territorio-nacional-a-diciembre-2025f.PDF>
- Davari, S., Jaber, M., Yousfi, A., & Poirier, E. (2023). A traceability framework to enable circularity in the built environment. *Sustainability*, 15(10), 8278. <https://doi.org/10.3390/su15108278>
- Diario El Pueblo. (2025, junio 30). *Arequipa alcanza en el 2025 un crecimiento económico de 4.5%*. <https://diarioelpueblo.com.pe/2025/06/30/arequipa-alcanza-en-el-2025-un-crecimiento-economico-de-4-5/>

- Dinis, F. M., Poças Martins, J., Guimarães, A. S., & Rangel, B. (2021). BIM and semantic enrichment methods and applications: A review of recent developments. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(4), 879–895. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09595-6>
- Dounas, T., Lombardi, D., & Jabi, W. (2021). Framework for decentralised architectural design BIM and blockchain integration. *International Journal of Architectural Computing*, 19(2), 157–173. <https://doi.org/10.1177/1478077120963376>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Erri Pradeep, A. S., Yiu, T. W., & Amor, R. (2019). Leveraging blockchain technology in a BIM workflow: A literature review. In *International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019: Driving data-informed decision-making* (pp. 371–380). ICE Publishing. <https://doi.org/10.1680/icsic.64669.371>
- Erri Pradeep, A. S., Yiu, T. W., Zou, Y., & Amor, R. (2021). Blockchain-aided information exchange records for design liability control and improved security. *Automation in Construction*, 126, 103667. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103667>
- Escobar-Pérez, J., & Cuervo-Martínez, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: Una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*, 6, 27–36. https://www.researchgate.net/publication/302438451_Validez_de_contenido_y_juicio_de_expertos_Una_aproximacion_a_su_utilizacion
- García Alvarado, R., Soza Ruiz, P., Pedreros Beltrán, F., Soto Muñoz, J., & Wegertseder Martínez, P. (2025). *Desde el modelo BIM a la ejecución automatizada: Integración con impresión 3D en construcción* [Trabajo académico]. Repositorio UPCT. <https://hdl.handle.net/10317/19014>
- García-Lopez, N. P., & Fischer, M. (2024). Managing on-site production using an activity and flow-based construction model. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(1). <https://doi.org/10.1061/jcemd4.coeng-13643>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Heydari, M., & Shojaei, A. (2025). Blockchain applications in the construction supply chain. *Automation in Construction*, 171, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.105998>

- Hijazi, A., Perera, S., Calheiros, R., & Alashwal, A. (2021). Rationale for the integration of BIM and blockchain for the construction supply chain data delivery: A systematic literature review and validation through focus group. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002142](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002142)
- Huynh-The, T., Gadekallu, T. R., Wang, W., Yenduri, G., Ranaweera, P., Pham, Q.-V., Benevides da Costa, D., & Liyanage, M. (2023). Blockchain for the metaverse: A review. *Future Generation Computer Systems*, 143, 401–419. <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.02.008>
- Jared M. Diamond, I. R., Grant, R. C., Feldman, B. M., Pencharz, P. B., Ling, S. C., Moore, A. M., & Wales, P. W. (2014). Defining consensus: A systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies. *Journal of Clinical Epidemiology*, 67(4), 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.12.002>
- Jia, J., Ma, H., & Zhang, Z. (2024). Integration of Industry Foundation Classes and ontology: Data, applications, modes, challenges, and opportunities. *Buildings*, 14(4), 911. <https://doi.org/10.3390/buildings14040911>
- Jiang, L., Shi, J., & Wang, C. (2022). Multi-ontology fusion and rule development to facilitate automated code compliance checking using BIM and rule-based reasoning. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101449. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101449>
- Jiang, S., Feng, X., Zhang, B., & Shi, J. (2023). Semantic enrichment for BIM: Enabling technologies and applications. *Advanced Engineering Informatics*, 56, 101961. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101961>
- Karmakar, A., & Delhi, V. S. K. (2025). Semantic BIM enrichment using a hybrid ML and rule-based framework for automated tenement compliance checking. *Automation in Construction*, 177, 106369. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106369>
- Kassem, M., & Li, J. (2021). Applications of distributed ledger technology (DLT) and blockchain-enabled smart contracts in construction. *Automation in Construction*, 132, 103955. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103955>
- Khattra, S. K., & Jain, R. (2024). Building information modeling: A comprehensive overview of concepts and applications. *Advances in Research*, 25(5), 140–149. <https://doi.org/10.9734/air/2024/v25i51145>

- Kim, K., Lee, G., & Kim, S. (2020). A study on the application of blockchain technology in the construction industry. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(9), 2561–2571. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-0188-x>
- Kolbe, T. H., & Donaubaue, A. (2021). Semantic 3D city modeling and BIM. In *Urban informatics* (pp. 609–636). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_34
- Kong, L., Zhao, R., Anumba, C., Lu, W., & Xue, F. (2025). Open BIM exchange on blockchain 3.0 virtual disk: A traceable semantic differential transaction approach. *Frontiers of Engineering Management*. <https://doi.org/10.1007/s42524-024-4006-x>
- León Pineda, C. C. de. (2024, octubre 16). *BIM y blockchain: Una revolución en la colaboración y transparencia en la construcción* [Trabajo final de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. *UPCommons*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/421430>
- Li, J., Greenwood, D., & Kassem, M. (2019). Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases. *Automation in Construction*, 102, 288–307. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.005>
- Li, J., Li, X., & Zhang, Z. (2022). Construction engineering quality traceability management method based on blockchain technology. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Internet, Education and Information Technology (IEIT 2022)* (pp. 3–10). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-058-9_2
- Liu, Y., Tao, X., Das, M., Gong, X., Liu, H., Xu, Y., Xie, A., & Cheng, J. (2024). Blockchain-enabled platform-as-a-service for production management in off-site construction design using openBIM standards. *Automation in Construction*, 156, 105447. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105447>
- Liu, Z., He, Y., Demian, P., & Osmani, M. (2024). Immersive technology and building information modeling (BIM) for sustainable smart cities. *Buildings*, 14(6), 1765. <https://doi.org/10.3390/buildings14061765>
- Liu, Z., Jiang, L., Osmani, M., & Demian, P. (2019). Building information modeling (BIM) and blockchain (BC) for sustainable building design information management framework. *Electronics*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/electronics8070724>

- López, D. S., & Rodríguez, J. M. Á. (2023). Recuperación de información en IoT basada en ontologías de dominio. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E57), 247–255. <https://www.proquest.com/openview/d19e1a3fc76c63b916fc766bf9069189>
- Mahmudnia, D., Arashpour, M., & Yang, R. (2022). Blockchain in construction management: Applications, advantages and limitations. *Automation in Construction*, 140, 104379. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104379>
- Massafra, A., Jabi, W., & Gulli, R. (2024). Topological BIM for building performance management. *Automation in Construction*, 166, 105628. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105628>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social. (2017). *Manual de operaciones (MOPE) – FONCODES (Resolución Ministerial N.º 228-2017-MIDIS)*. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/midis/informes-publicaciones/270642-dg-mope-manual-de-operaciones-foncodes>
- Nawari, N. O., & Ravindran, S. (2019). Blockchain technology and BIM process: Review and potential applications. *Journal of Information Technology in Construction*, 24, 209–238. <https://www.itcon.org/2019/12>
- Ni, Y., Sun, B., & Wang, Y. (2021). Blockchain-based BIM digital project management mechanism research. *IEEE Access*, 9, 161342–161351. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3130270>
- Niknam, M., & Karshenas, S. (2017). A shared ontology approach to semantic representation of BIM data. *Automation in Construction*, 80, 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.013>
- Nisbet, N., Zhang, Z., Chen, W., & Çıdık, M. S. (2024). Semantic correction, enrichment and enhancement of social and transport infrastructure BIM models. *Advanced Engineering Informatics*, 59, 102290. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102290>
- Paz Marcos, D. (2025). *Aplicación web para facilitar la creación de repositorios semánticos para ontologías* [Trabajo de fin de grado, Universidad de La Laguna]. Repositorio Institucional de la Universidad de La Laguna. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/42628>

- Peralta Delgado, C. S., & Cárdenas Velásquez, J. (2020). *Informe de vigilancia tecnológica: Blockchain*. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC). <https://hdl.handle.net/20.500.12390/2270>
- Perera, S., Nanayakkara, S., Rodrigo, M. N. N., Senaratne, S., & Weinand, R. (2020). Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry? *Journal of Industrial Information Integration*, 17, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100125>
- Qin, L., & Ren, G. (2025). Automating interoperable reasoning for BIM-based regulatory and performance knowledge using semantic web: A systematic review. *Semantic Web Journal*. <https://www.semantic-web-journal.net/content/automating-interoperable-reasoning-bim-based-regulatory-and-performance-knowledge-using>
- Ribeiro, R. R., & César Júnior, K. M. L. (2021). Modelagem paramétrica baseada em objetos em BIM para o projeto estrutural: Estudo de caso de fundações tipo tubulão. *PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 12. <https://doi.org/10.20396/parc.v12i00.8653835>
- Rivas Dsamppi Geronimo, R. A. (2019). *Estudio del desarrollo del BIM en conjunto con el blockchain en el sector de la construcción* [Trabajo de grado]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/172820>
- Rodrigues, F., Alves, A. D., & Matos, R. (2022). Construction management supported by BIM and a business intelligence tool. *Energies*, 15(9), 3412. <https://doi.org/10.3390/en15093412>
- Rojas Córdova, A. R., San Martín Blas, E. C., Peña Saavedra, H. E., Jara Enríquez, J., & Flores Zorrilla, J. V. (2023). *Aplicación de tecnologías 4.0 a proyectos de edificación* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/76d69dd4-b11d-4879-9269-661e79292f3e>
- Romero, A., & Esenarro, D. (2024). Factors affecting contract compliance and execution of public works in the executing unit: Special Project Huallaga Central and Bajo Mayo in Peru, 2022. *Buildings*, 14(9), 2664. <https://doi.org/10.3390/buildings14092664>
- Rueda Sánchez, M. P., Armas, W. J., & Sigala-Paparella, L. E. (2023). Análisis cualitativo por categorías a priori: Reducción de datos para estudios gerenciales. *Ciencia y Sociedad*, 48(2), 83–96. <https://doi.org/10.22206/cys.2023.v48i2.pp83-96>

- Sáez, V., Barbero-Álvarez, M., Porras-Amores, C., Alonso, M., & Torres, Á. (2023). Design and validation of a mobile application for construction and demolition waste traceability. *Buildings*, 13(8), 1908. <https://doi.org/10.3390/buildings13081908>
- Salgado Iturrino, B. (2021). *Aplicación de la tecnología blockchain en el ecosistema BIM: Nuevas oportunidades* [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio UPM. https://oa.upm.es/67014/1/TFG_Ene21_Salgado_Iturrino_Belen.pdf
- Santos, A. D., Vidotto, L. S., & Giublin, C. R. (2008). A utilização do método Delphi em pesquisas na área da gestão da construção. *Ambiente Construído*, 5(2), 51–59. <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3618>
- Schelter, S., Lange, D., Schmidt, P., Celikel, M., Biessmann, F., & Grafberger, A. (2018). Automating large-scale data quality verification. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 11(12), 1781–1794. <https://doi.org/10.14778/3229863.3229867>
- Sigalov, K., Ye, X., König, M., Hagedorn, P., Blum, F., Severin, B., Hettmer, M., Hückinghaus, P., Wölkerling, J., & Groß, D. (2021). Automated payment and contract management in the construction industry by integrating building information modeling and blockchain-based smart contracts. *Applied Sciences*, 11(16). <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/16/7653>
- Simeone, D., Cursi, S., & Acierno, M. (2019). BIM semantic enrichment for built heritage representation. *Automation in Construction*, 97, 122–137. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.004>
- Taherdoost, H. (2023). Smart contracts in blockchain technology: A critical review. *Information*, 14(2), 117. <https://doi.org/10.3390/info14020117>
- Takao, A., Yabuki, N., Otsuka, Y., & Hirai, T. (2025). Earthwork traceability management system using compaction history and dump truck sensing data. *CivilEng*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.3390/civileng6010011>
- Tao, X., Das, M., Liu, Y., & Cheng, J. C. P. (2021). Distributed common data environment using blockchain and Interplanetary File System for secure BIM-based collaborative design. *Automation in Construction*, 130, 103851. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103851>
- Tao, X., Wu, Z., Xu, Y., Zheng, C., Fang, Y., Das, M., Liu, H., Gong, X., & Cheng, J. (2024). Smarter smart contracts for automatic BIM metadata compliance checking

- in blockchain-enabled common data environment. *Advanced Engineering Informatics*, 62, 102627. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102627>
- Teclaw, W., O'Donnell, J., Kukkonen, V., Pauwels, P., Labonnote, N., & Hjelseth, E. (2024). Federating cross-domain BIM-based knowledge graph. *Advanced Engineering Informatics*, 62, 102770. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102770>
- Vasileiou, K., Barnett, J., Thorpe, S., & Young, T. (2018). Characterising and justifying sample size sufficiency in interview-based studies: Systematic analysis of qualitative health research over a 15-year period. *BMC Medical Research Methodology*, 18(1), 148. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0594-7>
- Villablanca Villa, Y. (2022). Algunos límites semánticos en la redacción de contratos más inteligentes. *Revista Chilena de Derecho y Tecnología*, 11(2), 301–328. <https://doi.org/10.5354/0719-2584.2021.67825>
- Wang, C. C., & Plume, J. (2012). A review on document and information management in the construction industry: From paper-based documents to BIM-based approach. In *Proceedings of the 2012 International Conference on Construction and Real Estate Management* (pp. 369–373). China Architecture & Building Press.
- Wang, J., Shen, Y., Xiong, X., Wang, X., & Fang, X. (2022). Research on multi-person collaborative design of BIM drawing based on blockchain. *Scientific Reports*, 12(1), 16312. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20321-5>
- Wang, Z., Sacks, R., Ouyang, B., Ying, H., & Borrmann, A. (2024). A framework for generic semantic enrichment of BIM models. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 38(4), 04024018. <https://doi.org/10.1061/JCCEE5.CPENG-5487>
- Wu, H., Li, H., Luo, X., & Jiang, S. (2023). Blockchain-based onsite activity management for smart construction process quality traceability. *IEEE Internet of Things Journal*, 10, 21554–21565. <https://doi.org/10.1109/jiot.2023.3300076>
- Xu, Y., Chi, M., Chong, H.-Y., Lee, C.-Y., & Chen, K. (2024). When BIM meets blockchain: A mixed-methods literature review. *Journal of Civil Engineering and Management*, 30(7), 646–669. <https://doi.org/10.3846/jcem.2024.21638>
- Xue, F., & Lu, W. (2020). A semantic differential transaction approach to minimizing information redundancy for BIM and blockchain integration. *Automation in Construction*, 118, 103270. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103270>
- Yang, R., Wakefield, R., Lyu, S., Jayasuriya, S., Han, F., Yi, X., Yang, X., Amarasinghe, G., & Chen, S. (2020). Public and private blockchain in construction business

- process and information integration. *Automation in Construction*, 118, 103276. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103276>
- Ye, X., Zeng, N., & König, M. (2022). Systematic literature review on smart contracts in the construction industry: Potentials, benefits, and challenges. *Frontiers of Engineering Management*, 9(2), 196–213. <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0188-2>
- Yin, M., Tang, L., Webster, C., Xu, S., Li, X., & Ying, H. (2023). An ontology-aided, natural language-based approach for multi-constraint BIM model querying. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.15116>
- Zhang, T., Doan, D. T., & Kang, J. (2023). Application of building information modeling–blockchain integration in the architecture, engineering, and construction/facilities management industry: A review. *Journal of Building Engineering*, 77, 107551. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107551>



ANEXOS

Anexo 1

Plan de ejecución BIM

PLAN DE EJECUCION BIM – MAJES - CUNAMAS

PLAN DE EJECUCION BIM

PROYECTO

“Sistema de Validación Constructiva Automatizada Integrando Semantic
BIM y Blockchain para la Gestión Inteligente en la Modalidad Núcleo
Ejecutor”

1. INTRODUCCIÓN

El presente Plan de Ejecución BIM (PEB) tiene como finalidad establecer la metodología, procesos, estándares técnicos, roles, responsabilidades y entregables necesarios para la implementación del sistema de validación constructiva automatizada desarrollado en la tesis:

“Propuesta de un sistema de validación constructiva automatizada integrando Semantic BIM y Blockchain para la gestión inteligente en la modalidad Núcleo Ejecutor.”

Este PEB se formula específicamente para su aplicación en proyectos de infraestructura del Programa Nacional CunaMás, bajo la modalidad de ejecución por Núcleo Ejecutor, donde se ha identificado:

- Débil trazabilidad documental.
- Fragmentación de información técnica.
- Falta de interoperabilidad entre especialidades.
- Limitaciones en el control técnico estructural.

El documento define cómo se implementará BIM como entorno de modelado, validación automatizada mediante scripts, estructuración semántica de datos y registro de validaciones en blockchain, asegurando transparencia, control técnico y confiabilidad documental.

Este PEB actúa como instrumento rector para la ejecución del piloto académico aplicado a infraestructura educativa tipo CunaMás.

2. INFORMACIÓN Y ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

2.1. Datos del Proyecto

2.1.1. Nombre del Proyecto

“Implementación de un Sistema de Validación Constructiva Automatizada mediante integración de Semantic BIM y Blockchain aplicado a Infraestructura del Programa Nacional CunaMás bajo modalidad Núcleo Ejecutor.”

2.1.2. Entidad Vinculada al Proyecto

Programa Nacional CunaMás
Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS) – Perú

2.1.3. Tipo de Proyecto

Proyecto de infraestructura pública educativa – Centro Infantil CunaMás.

Categoría:

- Edificación de servicio social
- Infraestructura de atención integral a la primera infancia

2.1.4. Ubicación del Proyecto Piloto

El piloto BIM se desarrolla con fines académicos aplicados a un caso tipo de infraestructura CunaMás en:

Departamento: Arequipa
Provincia: Arequipa
Distrito: (según caso tipo de análisis de tesis)

Modalidad de ejecución: Núcleo Ejecutor

2.1.5. Descripción del Proyecto

El proyecto tiene como finalidad desarrollar e implementar un sistema de validación técnica estructural automatizada que permita mejorar la gestión constructiva en proyectos del Programa Nacional CunaMás ejecutados bajo modalidad Núcleo Ejecutor.

El sistema se basa en:

- Modelado BIM estructural.
- Validaciones automatizadas mediante reglas técnicas.
- Interpretación semántica de datos constructivos.
- Registro inmutable de resultados en blockchain privada.

El enfoque no es únicamente constructivo, sino tecnológico–metodológico, buscando optimizar:

- Control de calidad estructural.
- Reducción de inconsistencias técnicas.
- Transparencia documental.
- Trazabilidad de modificaciones.
- Auditoría digital verificable.

El modelo BIM desarrollado contempla:

- Elementos estructurales (cimientos, columnas, vigas, losas).
- Parámetros técnicos asociados a normativa.
- Reglas de validación basadas en criterios del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).
- Exportación estructurada de datos para análisis semántico.

2.1.6. Tipo de Contrato / Modalidad de Ejecución

Modalidad: **Núcleo Ejecutor**

Características:

- Administración directa por comité comunitario.
- Supervisión técnica externa.
- Control documental descentralizado.
- Alta vulnerabilidad a errores técnicos y duplicidad de información.

Justificación de implementación BIM:

Debido a la naturaleza descentralizada del Núcleo Ejecutor, se identificó la necesidad de integrar herramientas digitales que:

- Centralicen información técnica.
- Permitan validación automática previa a ejecución.
- Generen evidencia digital verificable.

- Reduzcan discrecionalidad técnica.

2.2. Objetivo General del Proyecto

Diseñar e implementar un sistema de validación constructiva automatizada integrando BIM semántico y blockchain que permita mejorar la gestión técnica estructural en proyectos de infraestructura CunaMás bajo modalidad Núcleo Ejecutor.

2.3. Objetivos Específicos del Proyecto

1. Modelar la infraestructura tipo CunaMás en entorno BIM estructural.
2. Desarrollar reglas de validación automatizadas mediante scripts.
3. Convertir información BIM en estructura semántica ontológica.
4. Implementar red blockchain privada para registro de validaciones.
5. Evaluar la eficiencia del sistema frente a métodos tradicionales.

2.4. Alcance del PEB

El presente PEB abarca:

Área	Incluye
Modelado BIM	Especialidad estructural
Validación	Reglas automatizadas
Gestión de datos	Exportación CSV/JSON
Semantización	Modelo ontológico
Blockchain	Registro de resultados
Control técnico	Reportes digitales

No incluye:

- Gestión financiera del proyecto.
- Control logístico de obra.
- Operación post-construcción.
- Facility Management.

2.5. Justificación de la Implementación BIM en CunaMás

Los proyectos CunaMás ejecutados por Núcleo Ejecutor presentan:

- Limitada digitalización técnica.
- Control manual de compatibilidades.

- Riesgo de inconsistencias estructurales.
- Falta de trazabilidad histórica.

La integración BIM + Semantic BIM + Blockchain permite:

- Validación automática previa a ejecución
- Registro inmutable de resultados técnicos
- Transparencia ante auditorías
- Mejora en control técnico comunitario
- Digitalización de procesos públicos

2.6. Resultado Esperado del Proyecto

Al culminar la implementación del sistema se espera:

- Reducción significativa de errores estructurales.
- Disminución de tiempos de revisión técnica.
- Evidencia digital verificable de cada validación.
- Prototipo replicable en infraestructura pública.
- Propuesta metodológica escalable a otras entidades públicas.

3. ESTRATEGIA DE ENTREGA DE INFORMACIÓN

La estrategia de entrega de información del presente proyecto se fundamenta en la implementación de un flujo digital estructurado que integra el modelado BIM estructural, la validación automatizada mediante reglas programadas, la estructuración semántica de datos y el registro de resultados en una red blockchain privada, complementado con la generación de reportes técnicos verificables. Este enfoque responde a la naturaleza innovadora del sistema propuesto en la tesis, el cual no se limita a la producción convencional de planos y modelos tridimensionales, sino que incorpora mecanismos digitales de control, verificación y trazabilidad orientados a fortalecer la gestión técnica en proyectos del Programa Nacional CunaMás ejecutados bajo modalidad Núcleo Ejecutor.

3.1. Objetivos para la Producción Colaborativa de Información

En el contexto del proyecto piloto aplicado al Programa Nacional CunaMás bajo modalidad Núcleo Ejecutor, los objetivos BIM se redefinen hacia un enfoque de validación inteligente estructural.

Tabla 1
Objetivos de gestión

Prioridad	Objetivos de Gestión de Información BIM	Uso BIM Asociado
1	Mejorar la calidad técnica del expediente estructural mediante reglas automatizadas de validación normativa.	Validación automatizada de cumplimiento estructural
1	Garantizar trazabilidad digital de cada revisión técnica realizada al modelo estructural.	Registro blockchain de validaciones

1	Detectar inconsistencias estructurales antes de la fase de ejecución física.	Detección automatizada de incompatibilidades
1	Centralizar la información técnica en un modelo único confiable.	Coordinación de la información
1	Reducir tiempos de revisión técnica manual.	Automatización mediante scripts
2	Estandarizar parámetros estructurales bajo criterios normativos (RNE).	Modelado paramétrico estructural
2	Generar base de datos estructurada exportable para análisis semántico.	Gestión estructurada de datos
2	Fortalecer capacidades digitales del equipo técnico del Núcleo Ejecutor.	Capacitación BIM aplicada
2	Permitir auditoría técnica posterior con evidencia inmutable.	Supervisión digital verificable
3	Visualización tridimensional para apoyo a comunicación técnica.	Visualización 3D estructural

Nota: Fuente propia

1: Prioridad Alta

2: Prioridad Media

3: Prioridad Baja

3.2. Estructura organizativa y composición del Equipo de ejecución.

Tabla 2

Estructura y composición

Organización	Nombre y Apellidos	Rol	Email	Celular
Tesistas	Jhordan Carpio	Modelador Estructuras	Jhordancarpio@gmail.com	973990107
	Pequeño			
Tesistas	Renata Pacheco	Modelador Arquitectura	renatapachecop@gmail.com	953760150
	Perez			

3.3. Lista de Recursos Informáticos Necesarios

Dado que el proyecto incorpora validación automatizada y blockchain, la lista de recursos se amplía respecto a un PEB convencional.

Tabla 3

Recursos Informáticos del Proyecto

Tipo de Información	Recurso Informático	Formato Nativo	Versión	Formato Abierto / Exportación
Modelos 3D Estructurales	Autodesk Revit	RVT	2025	IFC 2x3 / IFC 4

PLAN DE EJECUCION BIM – MAJES - CUNAMAS

Validación	PyRevit	Script (.py /	Compatible	Reporte PDF /
Automatizada		.dyn)	2025	CSV
Exportación de	Revit	CSV	2025	CSV / JSON
Datos				
Interpretación	Software Ontológico	OWL	Última	RDF / XML
Semántica	(Protégé u otro)		estable	
Registro	Red privada	Bloque digital	Versión	Hash SHA-256
Blockchain	(Ethereum /		estable	
	Hyperledger)			
Reportes	Microsoft Excel	XLSX	2024	PDF
Técnicos				
Visualización 3D	Revit	RVT	2024	MP4 / IFC
Gestión	Servidor local / nube	Carpeta	-	PDF
Documental	privada	estructurada		

Nota: Fuente propia

3.4. Estrategia de federación

Figuras 1

Modelo federado de proyecto



Nota: Fuente propia

3.5. Estrategia de Entrega del Modelo de Información

Tabla 4

Estrategia para entregables

Nº Entregable	Descripción del entregable	Equipo de Trabajo a cargo del desarrollo	Contenedor de información	Método de entrega	Plazos de Entrega	Fecha de Entrega
Entregable 01 Definición Metodológica y Parámetros Técnicos	- Documento metodológico preliminar del sistema de validación constructiva automatizada.- Definición de criterios estructurales según RNE.- Parámetros técnicos para modelado BIM estructural.- Matriz de Requisitos de Información BIM.- Definición de reglas base para validación automatizada.- Lineamientos para estructuración semántica de datos.- Plan de integración con red blockchain privada.	Equipo de ejecución (Coordinador BIM + Proyectista estructural + Equipo de investigación)	- .docx- .pdf	A través de la solución de CDE	20 días	10/01/2026
Entregable 02 Modelo BIM Arquitectónico y Estructural Base	- Modelo BIM arquitectónico simplificado.- Modelo BIM estructural paramétrico.- Planos de vistas arquitectónicas simples (plantas y cortes).- Planos estructurales simples (cimientos, columnas, vigas y losas).- Vistas 3D del modelo.- Parametrización del modelo para validación automatizada.- Preparación del modelo para exportación de datos estructurados.	Modelador BIM + Proyectista estructural	- .RVT- .IFC- .pdf	A través de la solución de CDE	25 días	15/01/2026
Entregable 03 Implementación de Validación Automatizada	- Desarrollo de scripts de validación (PyRevit/Dynamo).- Aplicación de reglas automatizadas estructurales.- Reporte de inconsistencias detectadas.- Exportación de datos estructurados (CSV / JSON).- Clasificación	Especialista en Automatización BIM + Coordinador BIM	- .py / .dyn- .csv- .json- .pdf	A través de la solución de CDE	20 días	10/01/2026

Entregable 04 Resultados Cuantitativos y Registro Blockchain	semántica de resultados.- Informe comparativo entre revisión manual y automatizada.- Base de datos preliminar para análisis estadístico.						
	- Implementación de red blockchain privada.- Generación de hash criptográfico por validación.- Registro inmutable de validaciones estructurales.- Historial digital verificable.- Gráficas comparativas de desempeño del sistema.- Porcentajes de reducción de errores estructurales.- Indicadores KPI de eficiencia (tiempo de validación, número de inconsistencias detectadas, porcentaje de cumplimiento normativo).- Análisis estadístico de resultados de la metodología.	Especialista Blockchain + Coordinador BIM + Supervisor académico	- .docx- .pdf- .xlsx- Registro hash digital	A través de la solución de CDE	30 días	20/01/2026	
Entregable 05 Informe Final BIM y Documento de Investigación	- Modelo BIM final validado.- Planos arquitectónicos simples.- Planos estructurales simples.- Reporte final de inconsistencias detectadas.- Base de datos estructurada definitiva.- Evidencia de registro blockchain.- Gráficas estadísticas finales en porcentajes.- Validación de hipótesis de investigación.- Conclusiones técnicas.- Manual metodológico replicable para modalidad Núcleo Ejecutor.- Informe final BIM del proceso completo.	Equipo completo del proyecto	- .RVT- .IFC- .docx- .pdf- .xlsx	A través de la solución de CDE	45 días	25/01/2026	

Nota: Fuente propia

3.6. Nivel de Desarrollo (LOD)

Tabla 5

Nivel de desarrollo en modelacion

COMPONENTE	SUBCOMPONENTES	HITO 1 Definición TécnicaLOD	LOI	HITO 2 Modelo Base BIMLOD	LOI	HITO 3 Validación AutomatizadaLOD	LOI	HITO 4 Modelo Final ValidadoLOD	LOI
MODELO ARQUITECTÓN ICO	Muros arquitectónicos	100	1	200	2	300	3	350	3
	Tabiques interiores	100	1	200	2	300	3	350	3
	Puertas	100	1	200	2	300	3	350	3
	Ventanas	100	1	200	2	300	3	350	3
	Cubierta (losa o estructura liviana)	100	1	200	2	300	3	350	3
	Cielos rasos	100	1	200	2	300	3	300	3
	Pisos y acabados	100	1	200	2	300	3	300	3
	Rampas de accesibilidad	100	1	200	2	300	3	350	3
	Servicios higiénicos (disposición espacial)	100	1	200	2	300	3	300	3
	Equipamiento fijo básico	100	1	200	2	300	3	300	3
MODELO ESTRUCTURAL	Cimentaciones (zapatas/platea)	100	1	200	2	300	3	350	3
	Sobrecimientos	100	1	200	2	300	3	350	3
	Columnas de concreto armado	100	1	200	2	300	3	350	3
	Vigas de concreto armado	100	1	200	2	300	3	350	3
	Losas macizas/aligeradas	100	1	200	2	300	3	350	3
	Muros estructurales	100	1	200	2	300	3	350	3

PLAN DE EJECUCION BIM – MAJES - CUNAMAS

	Placas estructurales	100	1	200	2	300	3	350	3
	Vigas de amarre	100	1	200	2	300	3	350	3
	Escaleras estructurales	100	1	200	2	300	3	350	3
	Elementos de confinamiento	100	1	200	2	300	3	350	3
MODELO SANITARIO (BÁSICO)	Red de agua fría	100	1	200	2	200	2	300	3
	Red de desagüe	100	1	200	2	200	2	300	3
	Aparatos sanitarios	100	1	200	2	200	2	300	3
	Accesorios y conexiones	100	1	200	2	200	2	300	3
MODELO ELÉCTRICO (BÁSICO)	Tablero general	100	1	200	2	200	2	300	3
	Canalizaciones	100	1	200	2	200	2	300	3
	Luminarias	100	1	200	2	200	2	300	3
	Tomas y salidas	100	1	200	2	200	2	300	3

Nota: Fuente propia

3.7. Nivel de Desarrollo (LOD) y Nivel de Información (LOI) Aplicado al Proyecto

De acuerdo con la metodología adoptada en la presente investigación y tomando como referencia el BIM Fórum (2021) para el Nivel de Desarrollo (LOD) y la Guía Nacional BIM – Perú para el Nivel de Información (LOI), se establece que el modelo BIM del proyecto piloto Cuna Más se desarrolla progresivamente desde un nivel conceptual hasta un nivel apto para la detección de interferencias y validación estructural automatizada.

Dado que el alcance de la tesis corresponde a un proyecto básico con enfoque en compatibilización e interoperabilidad, el modelo no alcanza un desarrollo constructivo total, sino que se concentra en garantizar precisión geométrica y semántica suficiente para la validación técnica.

Nivel de Desarrollo – LOD 200

En el nivel LOD 200, el elemento BIM es representado como un sistema, objeto o ensamblaje genérico, con cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximadas. Su representación gráfica corresponde a volúmenes o geometrías referenciales que permiten comprender la configuración espacial general del proyecto.

El nivel de información no gráfica es de carácter general y referencial, incluyendo propiedades técnicas básicas, parámetros normativos preliminares y datos estimados. En esta etapa, las características del modelo presentan alta probabilidad de modificación conforme avanza el desarrollo del diseño.

Este nivel se asocia a la fase de anteproyecto o factibilidad, donde el objetivo principal es evaluar la viabilidad técnica y espacial del proyecto, sin requerir aún precisión absoluta en dimensiones o especificaciones.

En términos de información, este nivel se vincula con LOI 2, el cual proporciona información suficiente para la investigación y factibilidad. Los elementos contienen identificación general (nombre, tipo, categoría) y propiedades técnicas básicas alineadas con normas de diseño. No incluye aún parámetros detallados para análisis automatizados complejos.

Nivel de Desarrollo – LOD 300

En el nivel LOD 300, los elementos BIM son modelados como sistemas u objetos específicos, con características precisas de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. Las dimensiones pueden medirse directamente desde el modelo sin necesidad de recurrir a información externa como notas o cotas adicionales.

El nivel de información no gráfica se encuentra definido con precisión respecto al origen del proyecto e incorpora parámetros técnicos específicos. En esta etapa, el modelo BIM tiene la capacidad de generar planos y documentación propia de un proyecto básico, así como de ser utilizado para la detección de interferencias.

Las probabilidades de cambios significativos disminuyen considerablemente, dado que el modelo ya responde a criterios técnicos estructurales y normativos definidos.

Este nivel se asocia al proyecto básico, que es precisamente el alcance de la presente tesis. En términos de información, se relaciona con LOI 3, ya que los elementos cuentan con identificación específica, categorización bajo sistemas de clasificación y parámetros detallados que permiten análisis estructural, validación normativa y procesamiento automatizado de datos.

Nivel de Desarrollo – LOD 350

El nivel LOD 350 implica que el elemento BIM es modelado considerando no solo su geometría específica, sino también su interacción con otros sistemas del edificio. Se incluyen elementos necesarios para la coordinación y compatibilización, tales como uniones, conexiones, soportes y encuentros estructurales.

El modelo ha pasado por un proceso de detección y resolución de interferencias, permitiendo una coordinación multidisciplinaria más precisa. Las dimensiones y propiedades pueden medirse directamente desde el modelo sin referencia externa.

El nivel de información no gráfica es específico e incluye datos como especificaciones técnicas, metrados, parámetros estructurales detallados y atributos necesarios para validaciones automatizadas. Las probabilidades de cambios en etapas posteriores son mínimas, aunque podrían definirse mayores niveles de precisión.

En el contexto de esta investigación, el LOD 350 se aplica principalmente a los elementos estructurales críticos, debido a que el objetivo central es garantizar la compatibilización y la validación técnica automatizada previa al registro en blockchain. No se desarrolla un proyecto constructivo completo, sino un modelo coordinado técnicamente validado.

Nivel de Información – LOI 2

El LOI 2 proporciona información suficiente para investigación y factibilidad. Los elementos cuentan con identificación general y propiedades técnicas básicas alineadas con normas y estándares de diseño. Esta información permite evaluar cumplimiento preliminar sin incorporar aún datos específicos para análisis automatizados complejos.

En la presente tesis, este nivel se utiliza en la etapa inicial de modelado arquitectónico y estructural conceptual.

Nivel de Información – LOI 3

El LOI 3 proporciona información suficiente para el diseño técnico detallado. Los elementos cuentan con identificación específica, códigos de clasificación y parámetros estructurales definidos. Se incorporan metadatos y atributos que permiten procesamiento automatizado de información, validación normativa, análisis estructural y generación de reportes técnicos verificables.

Este nivel es fundamental para la metodología planteada en la tesis, ya que la validación automatizada, la estructuración semántica de datos y el registro en blockchain requieren información técnica precisa y estandarizada.

Aplicación Metodológica en la Tesis

En coherencia con el objetivo de desarrollar un modelo BIM estructural interoperable, validado automáticamente y trazable digitalmente, el proyecto alcanza:

LOD 200 – LOI 2 en etapa conceptual.

LOD 300 – LOI 3 para proyecto básico.

LOD 350 – LOI 3 en elementos estructurales críticos para detección de interferencias y compatibilización.

De esta manera, el modelo BIM desarrollado no solo cumple una función de representación gráfica, sino que se convierte en un contenedor de información estructurada, validable y registrable digitalmente, alineado con los objetivos de control técnico, trazabilidad y transparencia establecidos en la investigación.

4. PARÁMETROS PARA EXTRACCIÓN DEL MODELO BIM

4.1. Parámetros informativos y de documentación del modelo BIM estructural

Tabla 6

Parámetros informativos

Disciplina	Elemento BIM	Código de Parámetro	Tipo de Dato (Revit)	Descripción del Parámetro	Uso dentro del modelo
Estructuras	Columna	COL_ALTURA_M	Longitud (Numérico)	Altura total de la columna medida en metros.	Documentación geométrica del elemento.
Estructuras	Columna	COL_MATERIAL	Texto	Define el material estructural del elemento.	Identificación del material estructural utilizado.
Estructuras	Columna	COL_NIVELBASE	Texto	Nivel estructural donde inicia la columna.	Referencia de ubicación vertical del elemento.
Estructuras	Columna	COL_NIVELSUPERIOR	Texto	Nivel estructural donde finaliza la columna.	Control de extensión vertical del elemento.
Estructuras	Columna	COL_NORMAPRINCIPAL	Texto	Norma técnica considerada en el diseño estructural del elemento.	Referencia normativa aplicada.
Estructuras	Cimiento corrido	CC_NORMA_PRINCIPAL	Texto	Norma técnica considerada para el diseño del cimiento corrido.	Control documental normativo.
Estructuras	Cimiento corrido	CC_MATERIAL	Texto	Material constitutivo del elemento de cimentación.	Identificación del material estructural.
Estructuras	Muro portante	MP_ALTURA_M	Longitud (Numérico)	Altura total del muro estructural medida en metros.	Registro geométrico del elemento.

Estructuras	Muro portante	MP_MATERIAL	Texto	Material estructural del muro portante.	Identificación del sistema estructural.
Estructuras	Muro portante	MP_NIVELBASE	Texto	Nivel estructural donde inicia el muro portante.	Ubicación vertical inicial del elemento.
Estructuras	Muro portante	MP_NIVELSUPERIOR	Texto	Nivel estructural donde finaliza el muro portante.	Control de altura estructural.
Estructuras	Muro portante	MP_NORMA_PRINCIPAL	Texto	Norma técnica estructural considerada en el diseño del muro.	Referencia normativa del elemento.

Nota. Parámetros destinados a la organización documental e identificación estructural dentro del modelo BIM. Estos parámetros no intervienen directamente en los procesos de validación automática, sino que facilitan la estructuración semántica de la información del modelo.

Tabla 7

Parámetros de validación estructural para columnas

Disciplina	Elemento BIM	Parámetro	Tipo de Dato (Revit)	Clasificación	Función dentro del sistema de validación
Estructuras	Columna	ELEMENTO	Texto	Clasificación	Identifica el tipo estructural dentro del modelo BIM.
Estructuras	Columna	COL_ID	Texto	Identificación	Identificador interno del elemento dentro del modelo.
Estructuras	Columna	ID_ELEMENTO_COL	Texto / Número	Identificación	Código único utilizado por el script para trazabilidad individual.
Estructuras	Columna	COL_ANCHO_M	Longitud (Numérico)	Técnico	Permite verificar el ancho mínimo exigido por la normativa estructural.
Estructuras	Columna	COL_PERALTE_M	Longitud (Numérico)	Técnico	Se utiliza para validar la geometría de la sección transversal.

Estructuras	Columna	COL_F'C	Número (Resistencia)	Técnico	Se compara con la resistencia mínima establecida por normativa.
Estructuras	Columna	COL_CUMPLE_ANCHO	Booleano (Sí/No)	Normativo	Resultado de verificación del ancho mínimo reglamentario.
Estructuras	Columna	COL_CUMPLE_FC	Booleano (Sí/No)	Normativo	Indica si la resistencia del concreto cumple con la norma.
Estructuras	Columna	COL_CUMPLE_PERALTE	Booleano (Sí/No)	Normativo	Verifica si el peralte cumple con los requerimientos normativos.
Estructuras	Columna	COL_SE_APOYA_EN_CIMENTACION	Texto	Funcional	Permite verificar que la columna se apoye correctamente en la cimentación.

Nota: Fuente propia.

Tabla 8

Parámetros de validación estructural para cimientos corridos

Disciplina	Elemento BIM	Parámetro	Tipo de Dato (Revit)	Clasificación	Función dentro del sistema de validación
Estructuras	Cimiento corrido	ID_ELEMENTO_CC	Texto / Número	Identificación	Código único utilizado por el script para el control individual del elemento.
Estructuras	Cimiento corrido	CC_ID	Texto	Identificación	Identificador interno del cimiento dentro del modelo BIM.
Estructuras	Cimiento corrido	ELEMENTO	Texto	Clasificación	Define el tipo estructural dentro del sistema constructivo.
Estructuras	Cimiento corrido	CC_ANCHO_M	Longitud (Numérico)	Técnico	Permite verificar el ancho mínimo exigido por la normativa estructural.
Estructuras	Cimiento corrido	CC_PROFUNDIDAD_DESPLANTE	Longitud (Numérico)	Técnico	Permite verificar la profundidad mínima requerida por normativa.

Estructuras	Cimiento corrido	CC_F'C	Número (Resistencia)	Técnico	Se compara con la resistencia mínima exigida por reglamento.
Estructuras	Cimiento corrido	CC_CONTINUIDAD_BAJO_MURO	Booleano / Texto	Funcional	Permite verificar continuidad estructural bajo muros portantes.
Estructuras	Cimiento corrido	CC_CUMPLE_ANCHO	Booleano (Sí/No)	Normativo	Resultado de validación automática del ancho reglamentario.
Estructuras	Cimiento corrido	CC_CUMPLE_PROFUNDIDAD	Booleano (Sí/No)	Normativo	Indica si la profundidad cumple con la exigencia normativa.
Estructuras	Cimiento corrido	CC_CUMPLE_FC	Booleano (Sí/No)	Normativo	Determina si la resistencia del concreto cumple la normativa.

Nota: Fuente propia.

Tabla 9

Parámetros de validación estructural para muros portantes

Disciplina	Elemento BIM	Parámetro	Tipo de Dato (Revit)	Clasificación	Función dentro del sistema de validación
Estructuras	Muro portante	ID_ELEMENTO_MP	Texto / Número	Identificación	Código único utilizado por el script para control individual del elemento.
Estructuras	Muro portante	ELEMENTO	Texto	Clasificación	Define el tipo estructural del elemento dentro del sistema constructivo.
Estructuras	Muro portante	MP_ID	Texto	Identificación	Identificador interno del muro dentro del modelo BIM.
Estructuras	Muro portante	MP_LONGITUD_M	Longitud (Numérico)	Técnico	Se compara con la longitud mínima requerida para garantizar estabilidad estructural.
Estructuras	Muro portante	MP_CUMPLE_LONGITUD	Booleano (Sí/No)	Normativo	Indica si la longitud del muro cumple con el mínimo normativo.

Estructuras	Muro portante	MP_NO_INTERFIER_COLUMNA	Booleano (Sí/No)	Control / Diagnóstico	Permite detectar interferencias estructurales entre muros y columnas.
--------------------	------------------	-------------------------	---------------------	--------------------------	--

Nota: Fuente propia.

Anexo 2

Reporte de Validación estructural automatizada del modelo BIM

REPORTE GENERAL ESTRUCTURAL

Reporte generado por script — Verificación de elementos estructurales

1. CIMIENTO CORRIDO

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	F'c (kg/cm2)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PROFUNDIDAD	CUMPLE F'c	CUMPLE CONTINUIDAD BAJO MUROS	CUMPLE ESTADO GENERAL
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	184805	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	184836	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	188209	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	423085	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	562648	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	562711	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	562796	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	562930	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563011	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563094	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563127	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563190	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563250	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563334	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563391	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563469	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	563535	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563576	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563661	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563709	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563758	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563821	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563870	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	F'c (kg/cm2)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PROFUNDIDAD	CUMPLE F'c	CUMPLE CONTINUIDAD BAJO MUROS	CUMPLE ESTADO GENERAL
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	563918	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	564045	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564092	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564154	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564220	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564284	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	564352	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	564401	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	564454	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564487	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	564553	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	564581	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564641	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564688	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	564753	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564819	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564860	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564904	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564963	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	564997	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	565043	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	565092	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	565139	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	565171	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	565204	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	565236	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	565294	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	F'c (kg/cm2)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PROFUNDIDAD	CUMPLE F'c	CUMPLE CONTINUIDAD BAJO MUROS	CUMPLE ESTADO GENERAL
CIMIENTO CORRIDO	CC-4	565451	0	1	100	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-5	565530	0	1	100	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-5	565594	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	565627	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	565679	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	565729	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	565774	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	565819	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	565852	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	565884	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566035	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	566069	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566119	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566151	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	566193	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566250	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566304	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566352	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566384	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566415	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566504	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566537	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566570	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566618	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566679	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	566765	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566810	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	F'c (kg/cm2)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PROFUNDIDAD	CUMPLE F'c	CUMPLE CONTINUIDAD BAJO MUROS	CUMPLE ESTADO GENERAL
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566858	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566894	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	566966	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	567027	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567091	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567124	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567156	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567209	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567260	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567307	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567357	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567390	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567422	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567477	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	567510	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	567560	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	567605	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	567639	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	567673	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	567756	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	567801	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	567851	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	567883	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	567940	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-2	567973	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	568060	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	568122	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	F'c (kg/cm2)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PROFUNDIDAD	CUMPLE F'c	CUMPLE CONTINUIDAD BAJO MUROS	CUMPLE ESTADO GENERAL
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	568156	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	568222	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	578103	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	581257	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	581694	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	581737	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	582246	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	582659	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-3	585438	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	592619	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	592687	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE
CIMIENTO CORRIDO	CC-1	611947	0.5	1	100	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO APLICA	CUMPLE

2. COLUMNAS

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PERALTE (m)	F'c (kg/cm2)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PERALTE	CUMPLE F'c	CUMPLE APOYO EN CIMENTACIÓN	CUMPLE ESTADO GENERAL
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	178741	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182260	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182270	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182282	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182292	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182302	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182316	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182368	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182382	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182394	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PERALTE (m)	F'c (kg/cm2)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PERALTE	CUMPLE F'c	CUMPLE APOYO EN CIMENTACIÓN	CUMPLE ESTADO GENERAL
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182404	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182416	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182436	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182461	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182475	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182485	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182497	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182507	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182529	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182557	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182567	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182581	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182595	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	182605	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	209827	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211551	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211736	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211746	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211756	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211780	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211792	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211802	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211814	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211824	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211838	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211850	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211872	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PERALTE (m)	F'c (kg/cm2)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PERALTE	CUMPLE F'c	CUMPLE APOYO EN CIMENTACIÓN	CUMPLE ESTADO GENERAL
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211884	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211896	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211908	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211918	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211930	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	211940	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212042	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212052	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212062	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212072	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212088	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212098	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212122	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212391	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212401	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	212431	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212473	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212483	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212497	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212511	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212835	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212845	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212855	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212877	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212887	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212897	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212907	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	ANCHO (m)	PERALTE (m)	F'c (kg/cm2)	CUMPLE ANCHO	CUMPLE PERALTE	CUMPLE F'c	CUMPE APOYO EN CIMENTACIÓN	CUMPLE ESTADO GENERAL
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212927	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212938	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-2	212952	0.5	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	212990	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213309	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213319	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213472	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213483	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213495	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213506	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213517	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213527	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213538	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	213549	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	215516	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-3	382521	0.25	0.25	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	396744	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-4	562022	0.3	0.15	210	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
COLUMNA ESTRUCTURAL	C-1	624503	0.6	0.6	210	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

3. MUROS PORTANTES

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	LONGITUD	CUMPLE LONGITUD	INTERFIERE CON COLUMNA	CUMPLE ESTADO GENERAL
MURO PORTANTE2	M-2	268359	2.25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-1	269304	1.27	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-3	272747	1.25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

ELEMENTO	CÓDIGO	ID	LONGITUD	CUMPLE LONGITUD	INTERFIERE CON COLUMNA	CUMPLE ESTADO GENERAL
MURO PORTANTE2	M-4	272818	1.25	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-5	272968	1.95	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-11	326896	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-9	327022	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-10	327118	0.55	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-13	330964	2.55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-14	331197	1.15	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-15	331771	1.15	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-16	331916	1.65	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-17	332884	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-19	333117	1.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-22	334494	1.45	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-20	335094	1.55	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-25	335991	1.35	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-28	336454	0.95	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-29	336587	2.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-30	336657	0.65	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-26	336734	2.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-27	337504	1.2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-31	339552	1	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-32	341234	1.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-34	341444	2.7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-24	341762	1.9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-23	341982	2.8	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-21	344966	1.9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-35	348533	2.14	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-33	359510	2.85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE



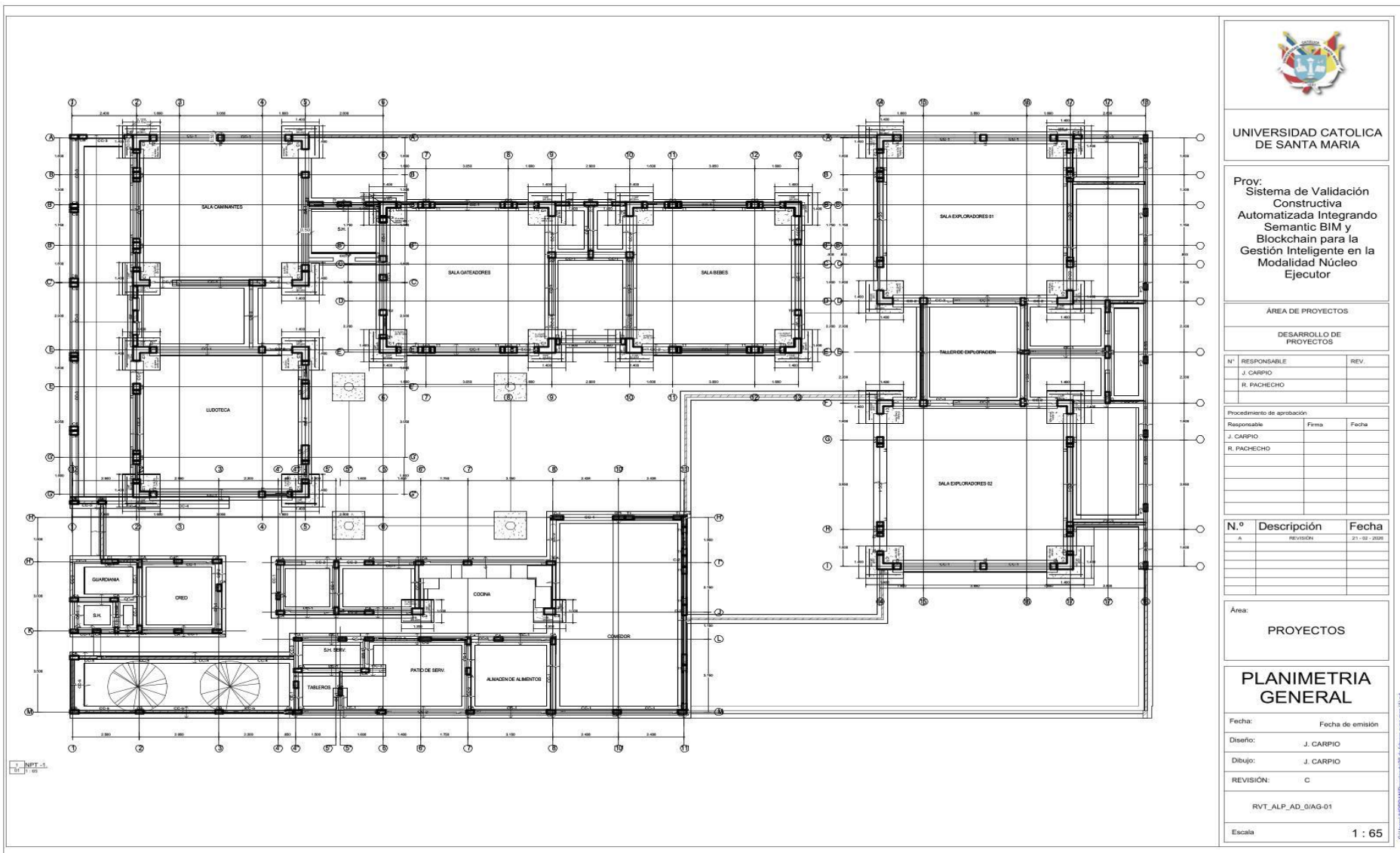
ELEMENTO	CÓDIGO	ID	LONGITUD	CUMPLE LONGITUD	INTERFIERE CON COLUMNA	CUMPLE ESTADO GENERAL
MURO PORTANTE2	M-6	361501	1.95	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-7	362234	1.95	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-8	362398	2.85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-18	380787	1.85	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
MURO PORTANTE2	M-36	617177	2.13	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

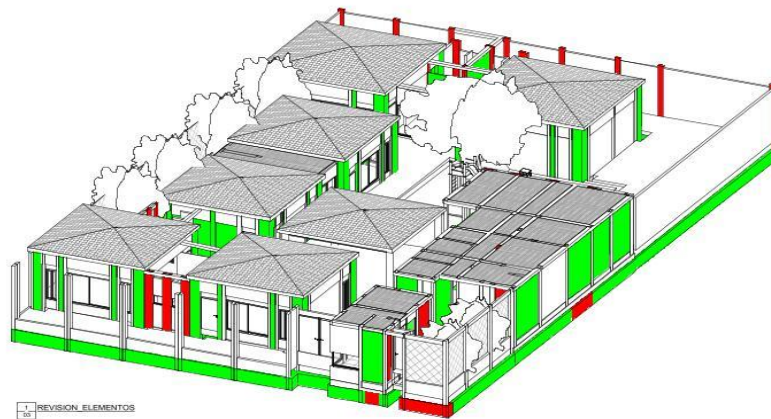


Anexo 3

Planos arquitectónicos y estructurales del modelo BIM







3 VISTA 3D - 3
31



UNIVERSIDAD CATOLICA
DE SANTA MARIA

Prov:
Sistema de Validación
Constructiva
Automatizada Integrando
Semantic BIM y
Blockchain para la
Gestión Inteligente en la
Modalidad Núcleo
Ejecutor

ÁREA DE PROYECTOS

DESARROLLO DE
PROYECTOS

N°	RESPONSABLE	REV.
	J. CARPIO	
	R. PACHECHO	

Procedimiento de aprobación:

Responsable	Firma	Fecha
J. CARPIO		
R. PACHECHO		

N.º	Descripción	Fecha
A	REVISIÓN	21-02-2020

Área:

PROYECTOS

GENERACION
DE
INTERFERENCIAS

Fecha: Fecha de emisión

Diseño: J. CARPIO

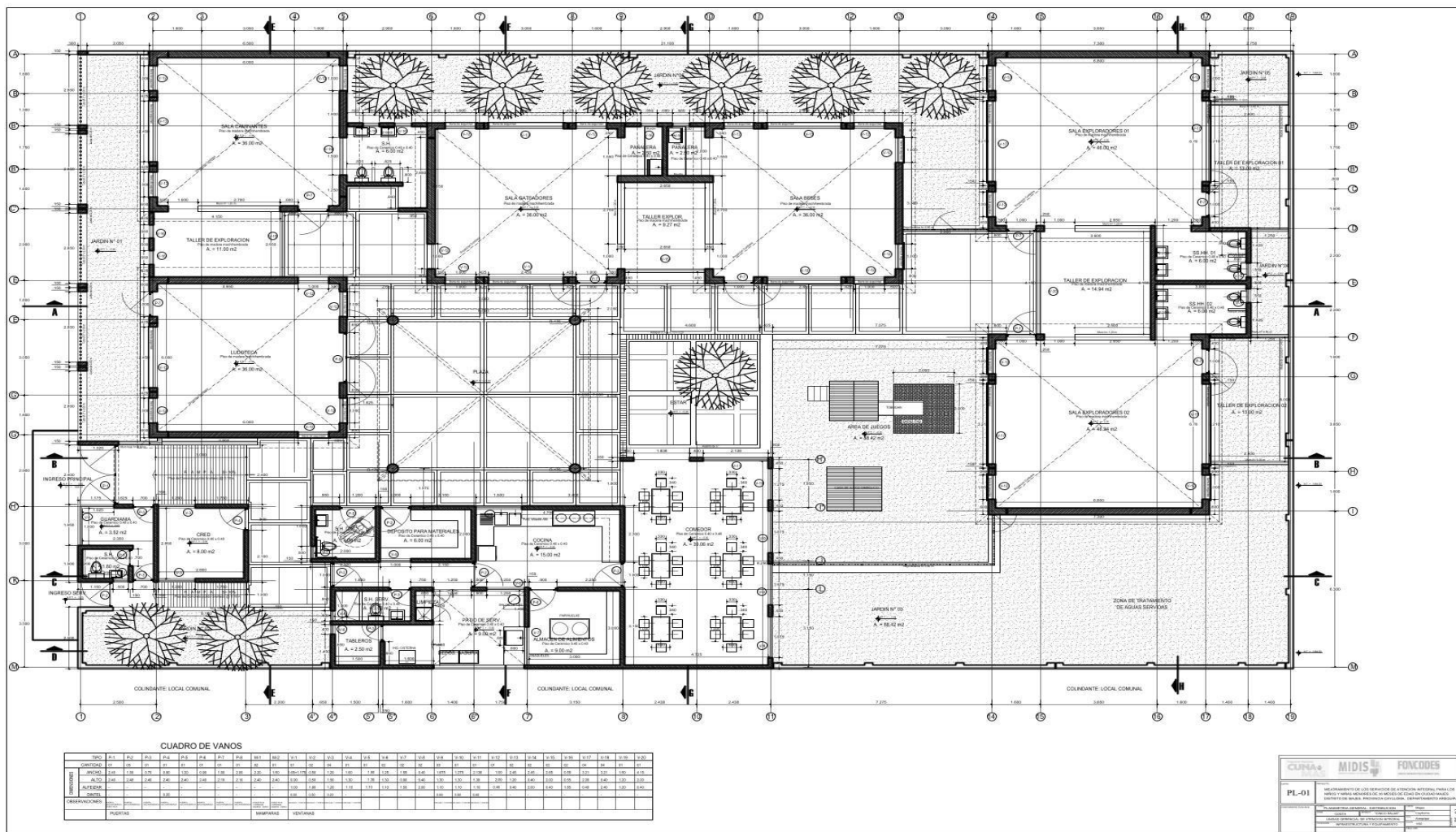
Dibujo: J. CARPIO

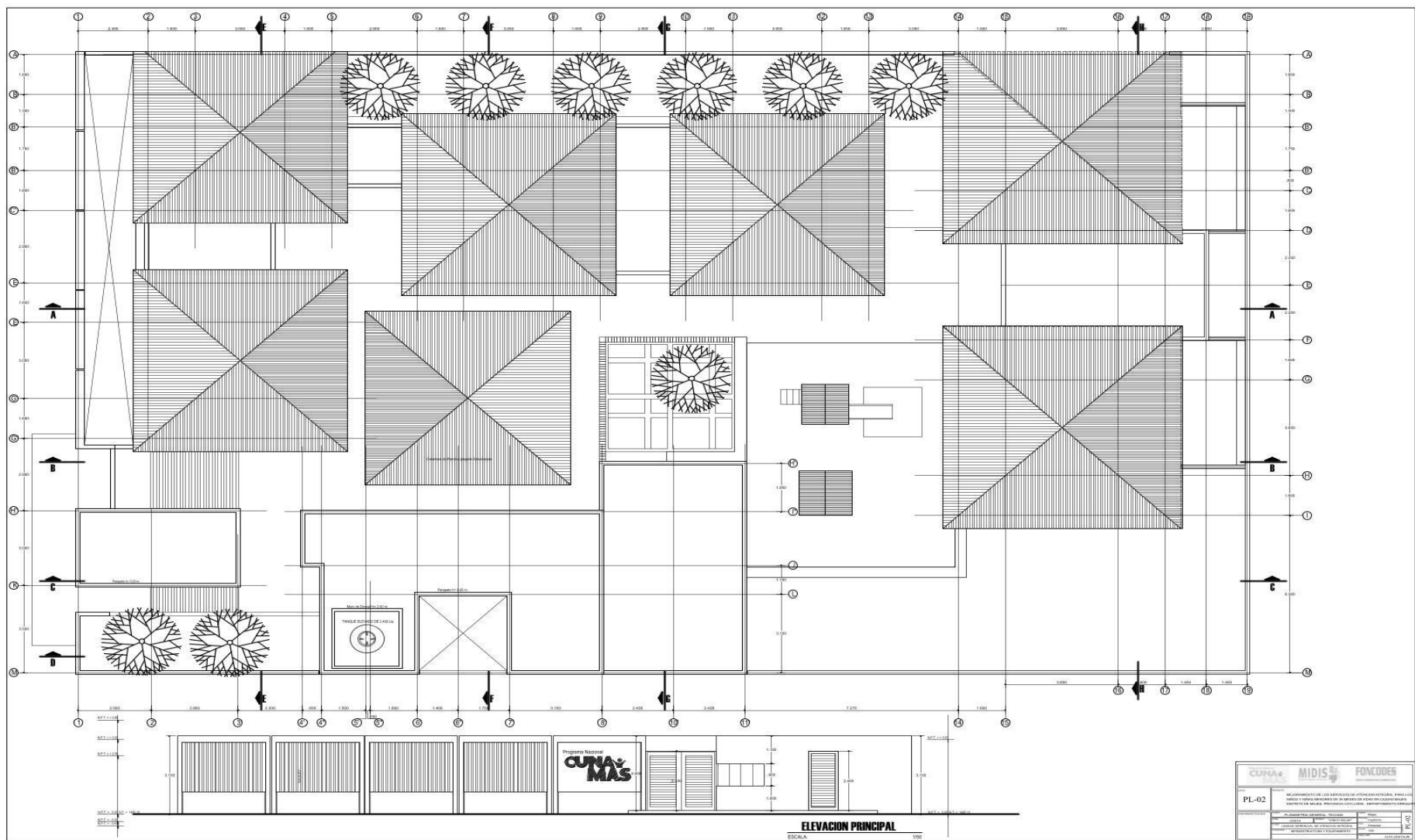
REVISIÓN: C

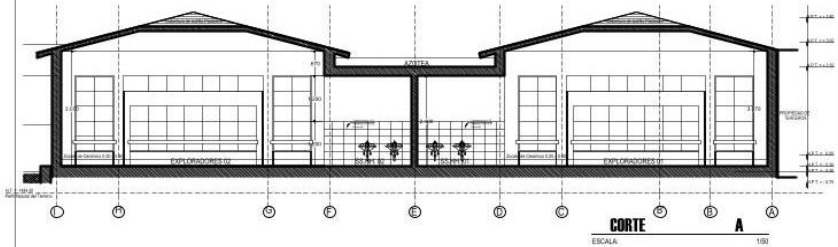
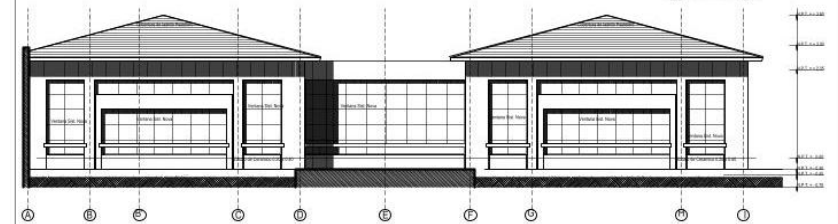
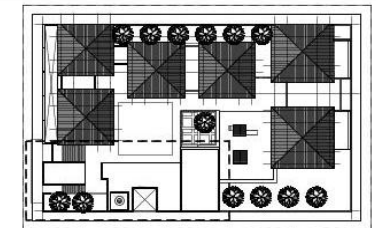
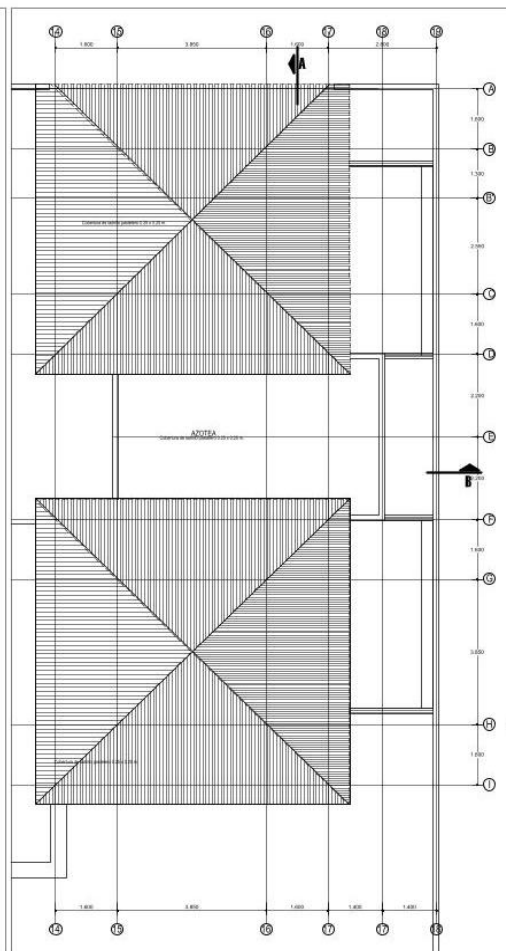
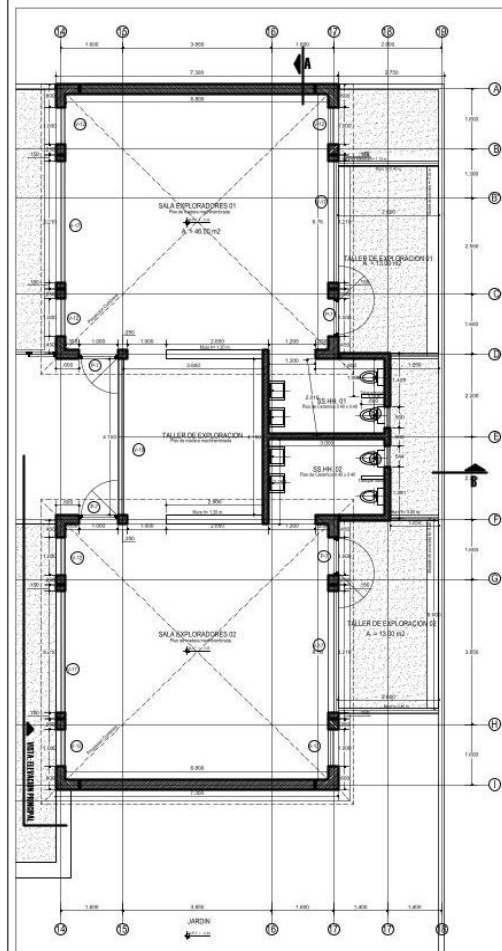
RVT_ALP_AD_01AG-01

Escala 1 : 65

Planos del expediente técnico del proyecto base

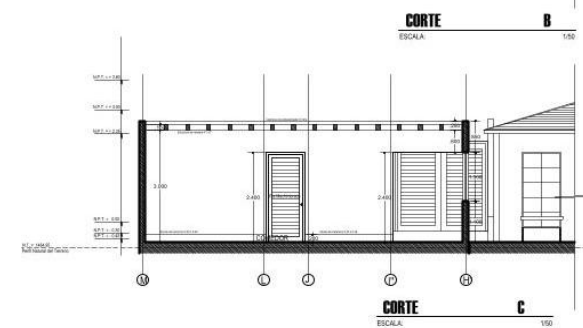
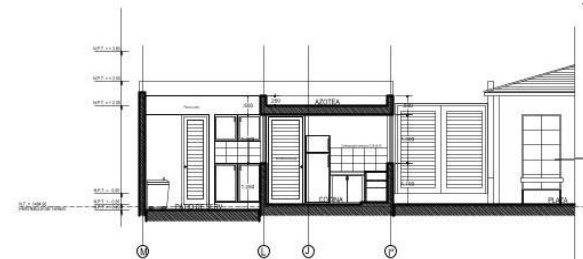
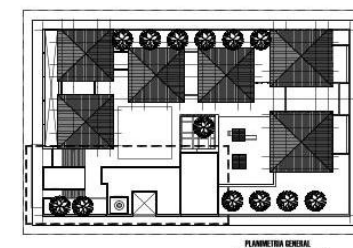
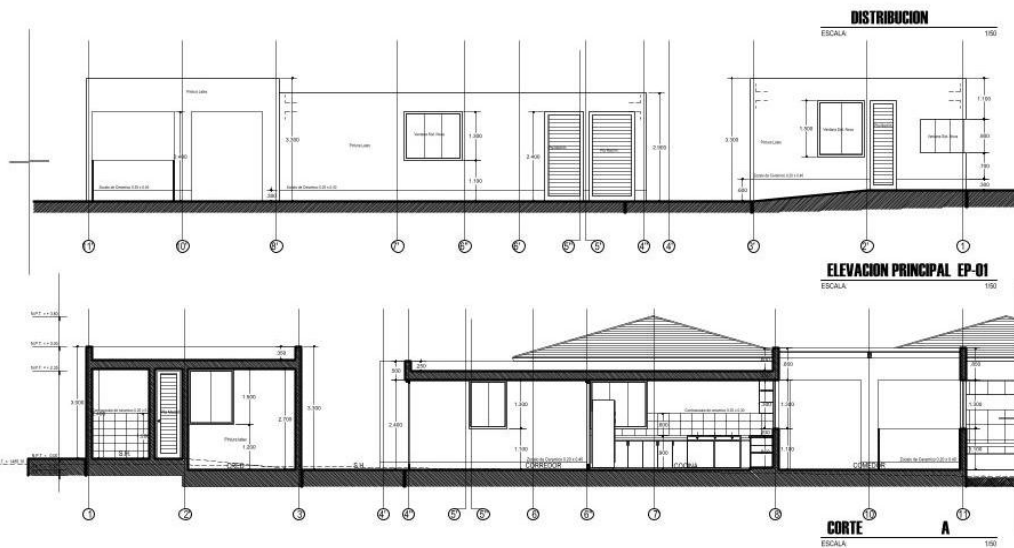






CUADRO DE VANOS								
	TIPO	P-1	9-12	11-13	12-14	13-15	14-16	15-17
DIMENSIONES	CANTIDAD	1	04	02	02	02	04	04
	ANCHO	1.80	1.00	2.40	2.40	2.60	3.00	3.21
	ALTO	2.10	3.00	1.20	0.80	2.00	0.60	2.80
	AUSENOR							
	ENTR/		0.40	0.40	2.00	0.40	1.80	0.40
OBSERVACIONES								
FIRMAS		VENTANAS						

[illegible]

[illegible][illegible]

Anexo 5

Documentación de expediente escaneado

13

FONCODES
OFICINA ZONAL AREQUIPA
INFORME MENSUAL DEL SUPERVISOR
ARQ. ALBERTO FLORES DUEÑAS

Proyecto:
MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE ATENCION INTEGRAL PARA NIÑAS Y NIÑOS DE 36 MESES DE EDAD EN CIUDAD MAJES, DISTRITO DE MAJES, PROVINCIA DE CAYLLOMA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA

Código:	N° de Informe:	Mes:	Fecha:
2120130007	6	sep-14	07/10/2014

INFORME N° 09-2015-AFD-SO



A : ECO. GERARDO LOVON ZAVALA
JEFE ZONAL DE FONCODES AREQUIPA

DE : ARQ. ALBERTO FLORES DUEÑAS
SUPERVISOR DE OBRA

ASUNTO : **Presentación Informe Mensual del Residente**

Proyecto : "Mejoramiento de los Servicios de atención integral
para niñas y niños menores de 36 meses de edad
de Ciudad Majes, Distrito Majes, Provincia de
Caylloma, Departamento Arequipa"

Convenio : 2120130007

FECHA : Arequipa, 24 de Febrero del 2015.

Es grato dirigirme a usted a fin de hacerle llegar adjunto al presente el Informe Mensual del Residente de Obra correspondiente al mes de Enero del 2015, el mismo que me fue entregado el día 19-02-2015 a las 090.00 horas, dicho informe consta de 02 files: Siendo el file N° 01 correspondiente al Informe Mensual N° 10 del Residente con 161 folios, y el file N° 02 correspondiente al Informe Financiero Mensual con 137 folios conteniendo la documentación contable la misma que solicito tenga a bien derivarla al Revisor de Cuentas a fin de que proceda a la revisión correspondiente.

Se adjunta:

- Check List Informe del Residente Enero 2015
- Hoja de Evaluación de Documentos Formato N° 01
- Informe N° 08-2015-AFD-SO Observaciones al Informe del Residente
- 01 file conteniendo el INFORME MENSUAL 10 con 161 folios
- 01 file conteniendo el INFORME FINANCIERO MENSUAL 10 con 137 folios

Atentamente.

Arq. ALBERTO FLORES DUEÑAS
SUPERVISOR DE OBRA
CAP. 6317
Alberto Flores Dueñas
ARQUITECTO
CAP. 6317



INFORME CONTABLE
12.45 HRS

JEFATURA	AREQUIPA
Fecha:	24 FEB 2015
Pase a:	Sep. U.T.
Archivar	☐ Conocer
Coordinar	☐ Tramitar
Recomendar	☐ Respuesta
Revisión y trámite.	



FOTO N° 07 del 10.09.2014.- Supervisor verificando escudra en el tarríco de la ventana de la Sala CRED.



FOTO N° 08 del 11.09.2014.- Supervisor verificando la realización de la prueba de presión de agua en las tuberías de agua fría de las Pañoleras.

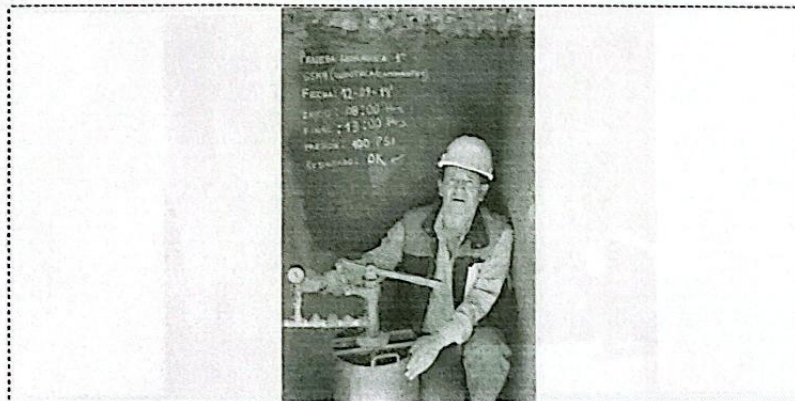


FOTO N° 09 del 12.09.2014.- Supervisor verificando la realización de la Prueba de Presión de agua en las tuberías de agua fría de los SS HH del Módulo Ludoteca Caminantes.


 **Alberto Flores Dueñas**
ARQUITECTO
CAP. 6317



PERU

Ministerio de Desarrollo
e Inclusión Social

Viceministerio de
Prestaciones Sociales

Fondo de Cooperación
para el Desarrollo Social
FONCODES

INFORME TECNICO N° 006-2014-MIDIS-FONCODES/CIAI.MAJES B/ARE-SUT-EYDCBP

A : Econ. Gerardo Lovon Zavala
Jefe Unidad Territorial FONCODES Arequipa

ASUNTO : Informe mensual septiembre 2014

REFERENCIA : Convenio N° 2120130007

"Mejoramiento de los Servicios de Atención Integral para niñas y niños menores de 36 meses de edad, en la localidad de Ciudad Majes - Sector B, Distrito de Majes, provincia Caylloma, departamento Arequipa"

FECHA : Arequipa, 13 de octubre del 2014

1.- ANTECEDENTES:

Localidad : Ciudad Majes - Módulo B
Distrito : Majes
Costo Total del proyecto : S/.963,016.00
Supervisor : Arq. Alberto Flores Dueñas
Residente : Arq. Juan de Dios Itucayasi Quispe

2.- DESARROLLO DEL PROYECTO:

En los documentos presentados por el Supervisor del Proyecto Arq. Alberto Flores Dueñas; se encuentra lo siguiente:

Fecha de Inicio : 15.04.2014
Avance Físico del mes : 08.87%
Avance Financiero del mes : 12.65%
Gasto Reportado Acumulado : S/.574,827.94
Fecha de Término : 10.12.2014

3.- CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES:

- Completar entrega de requisitos correspondientes a las adendas de modificación y ampliación de plazo
- Acelerar acabados, implementación y equipamiento del proyecto; de ser posible, incrementar frentes de trabajo
- Actualización del cronograma de ejecución, adicionales y deductivos es labor de gabinete y evaluación diaria
- Preparar la documentación solicitada para la evaluación de obra y liquidación del proyecto
- Costos de mano de obra serán las del mercado local, con la racionalidad correspondiente preservando el logro de metas y objetivos al 100% en el proyecto
- Preparar Plan de Seguridad, operatividad y mantenimiento, para uso de la edificación e implementos.

El Área de Liquidaciones de la Unidad Territorial viene realizando la revisión contable de los documentos presentados como rendición de cuentas parcial del mes septiembre 2014.

Atentamente.

edcbp
C.E.: Archivo
Se adjunta pre liquidación



ARQ. EDUARDO DEL CANTO BELLIDO FOSTICO
SUPERVISOR UNIDAD TERRITORIAL

-031-

Proyecto: _____

Entidad Ejecutora: _____

1- Da la obra; - Tarea de la biblioteca de la escuela por instructivo por ingreso de alumnos.

- TARRETES MUROS COLUMNAS VIGAS EXTERIORES DE APOYO CONCRETO.

- TUBERÍA DE DEMANDAS DE VARIOS PUNTOS Y VENTANAS DE SALIDA LUBRIFICADORA.
CABLEADO INICIAL DE VEHICULO VA-1.

- COMPARTAR CON TIEMPO DE JUEGO EN SALA BIBLIOTECA y TALLER DE EXPERIMENTACIÓN. REVISAR DE DISEÑO EN SU III.

= DE LAS MATERIALES = SANDOK: 10 lbs cemento, Sky Number N 8, S 4 tipos
 PVC #4", 02 GAL. ESCALINA, 2 canchales 15x13, 2 coras base 30x40, 8 canchales 10x10
 de 1/4", 4 llaves de pared 1/2", 13 cables H 2 d' 1/2, 4 coras inser 1 d' 1/2, 6 TEE 1/2".

3- Del personal: 01 maestro de obra, 01 albañero, 01 electricista, 04 carpinteros, 02 oficiales, 10 peones.

4. Exemplos: Uso de planilha compactadora = 06 H/mq. //

ASISTENTE N° 215 DEL SUPERVISOR OBRAS 07-09-2014

1. negative orders:- those which are of negative nature.

- procedimento de ensino baseado no caso real - o aluno desenvolve o pensamento crítico de forma independente.

- Transfer of wood columns using machines if you have.

"Transferir as coordenadas dos pontos geográficos de cada lote para o universo, transferir para o 19-1

- comparison of mass on scale (weights) - rather than transmission.

- 7th personal neurons:

di nobilitate osv. di discendenza, di cultura, di offuscato, de offuscato, in p. p. p.

2. dehydratation of alcohols.

4. Soluções - 15 pontos (5 por questão) as 6 primeiras e 9 as últimas. As 7 e 8 são de 12 pontos cada. As 9 e 10 são de 15 pontos cada.

1941-1942

[illegible]

Q. 2. Explain the following:

1) How many numbers are there, 0014.

2. OSBUNDLES

1. - Effizienz der Produktion und der Prozesse als Grundlage der Wettbewerbsfähigkeit

- 37 SHOWS 91670000 LA JARD RE NO NORMANOS FISHERS N NORMANOS + PLOS.

Alberto Flores Dueñas

ARQUITECTO
CAP. 6317

11

SAC, NEW YORK

SAC, NEW YORK

SAC, NEW YORK

INSPECTOR RESIDENTE SUPERVISOR

ARQUITECTO
CAP. 6317

CS C

318

PROYECTO

**"MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE ATENCION
PARA LOS NIÑOS Y NIÑAS MENORES DE 36
MESES DE EDAD EN CIUDAD MAJES, DISTRITO
MAJES, PROVINCIA DE CAYLLOMA,
DEPARTAMENTO AREQUIPA"**

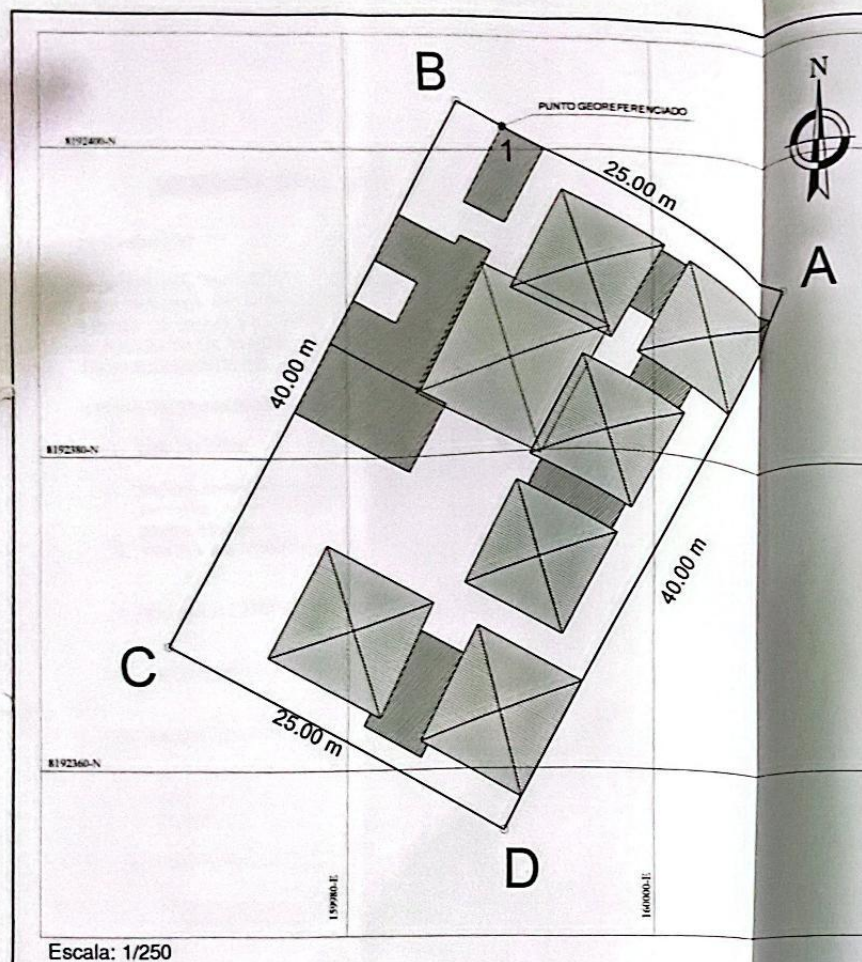
MEMORIA DE CALCULO Y HOJAS DE DISEÑO

- DIMENSIONAMIENTO DE CANTIDAD DE AMBIENTES
- PARAMETROS DE DISEÑO Y CALCULO ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES
- CALCULO DEL VOLUMEN DE DISEÑO DEL CISTERNA Y TANQUE ELEVADO DE AGUA
- CALCULO DEL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE DESAGUE

Martha Yanet Bedregal Alvarez
ARQUITECTA CAP. 2015

ARQ. MARTHA YANET BEDREGAL ALVAREZ

CAP 2015



A

CUADRO COORDENADAS UTM DATUM - PSAD56					
LINEA	DISTANCIA	VERT.	X	Y	UTM
A-B	25.00	N	8192406.00	159980.00	8192406.00
B-C	40.00	N	8192406.00	159980.00	8192406.00
C-D	25.00	S	8192406.00	159980.00	8192406.00
D-A	40.00	S	8192406.00	159980.00	8192406.00

PERIMETRO	100.00 m.
AREA DE TERRENO	1000.00 m ²
DATUM (Coordenadas UTM)	PSAD 56
ZONA HORARIA	UTC-5

CUADRO DE LINDEROS Y MEDIDAS PERIMETRICAS

LINDEROS	MEDIDAS PERIMETRICAS
Por el Frente:	Con terreno de recreación pública Mz A4, calle 305 de por medio, línea recta de 25.00 m.
Por el lado Derecho entrando:	Con terreno de Equipamiento Comunal, línea recta de 40.00 m.
Por el lado Izquierdo entrando:	Con terreno de Posta Médica lote 02, línea recta de 40.00 m.
Por el Fondo:	Con fincas A6 - A7, calle 305 de por medio, línea recta de 25.00 m.

COORD. GEOREFERENCIADO

1 X=757205.0040 Y=8218974.2324

[Signature]
CAP. 6317

[Signature]
CAP. 3667

Convenio N°: 2120130007.	Dirección: Ciudad Majes, Modulo B, Sector 3, Mz A5, lote 01.	Proyecto: "CIAI MAJES B".
Localidad: C.P. Ciudad Majes	Distrito: Majes	Plano: Perimétrico, Profesional:
Provincia: Caylloma	Departamento y Región: Arequipa	Escala: 1/250 Arq. Juan Ituccayasi Quispe CAP. N° 3667

P-01

CONVENIO 21-2013-0007 - FONCODES
PROYECTO CODIGO SNIP N° 278469

Formato N° 13: VALORIZACION DE AVANCE DE OBRA al 31-10-2014
OBRA: "MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE ATENCION INTEGRAL PARA NIÑAS Y NIÑOS DE 36 MESES DE EDAD EN CIUDAD MAJES, DISTRITO DE MAJES, PROVINCIA DE CAYLLOMA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA"

CORRESPONDIENTE AL MES DE:
FECHA DE PRESENTACION:

OCTUBRE DEL 2014
31 DE OCTUBRE DEL 2014

PARTIDA	DESCRIPCION	PRESUPUESTO				AVANCES										SALDO		
		Und.	Metrado	P. Unit.	Presup.	ANTERIOR			ACTUAL			ACUMULADO			Valorizado			
				Valorizado				Valorizado			Valorizado			Metrado	S/.	%	Metrado	S/.
				S/.		Metrado	S/.	%	Metrado	S/.	%	Metrado	S/.	%	Metrado	S/.	%	
01.- ESTRUCTURAS.																		
1.00 OBRAS PROVISIONALES.																		
1.01	CARETA PIGUARDIANA, ALMACEN, SS HH	M2	108.00	54.18	5,851.44	108.00	5,851.44	100.00%	-	-	0.00%	108.00	5,851.44	100.00%	-	-	0.00%	
1.02	AGUA PARA LA CONSTRUCCIÓN	GLB	1.00	750.00	750.00	0.88	600.00	88.00%	0.05	37.50	5.00%	0.93	497.50	93.00%	0.07	52.50	7.00%	
1.03	DESAGUE PARA LA CONSTRUCCIÓN	GLB	1.00	800.00	800.00	0.88	704.00	88.00%	0.05	40.00	5.00%	0.93	744.00	93.00%	0.07	56.00	7.00%	
1.04	ENERGIA ELECTRICA PROVISIONAL	GLB	1.00	750.00	750.00	0.88	600.00	88.00%	0.05	37.50	5.00%	0.93	497.50	93.00%	0.07	52.50	7.00%	
1.05	CERCO PERIMETRICO	GLB	1.00	1,250.00	1,250.00	1.00	1,250.00	100.00%	-	-	0.00%	1.00	1,250.00	100.00%	-	-	0.00%	
TRABAJOS PRELIMINARES.																		
2.01	LIQNEZA DEL TERRENO	GLB	1.00	1,500.00	1,500.00	1.00	1,500.00	100.00%	-	-	0.00%	1.00	1,500.00	100.00%	-	-	0.00%	
2.02	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO PRELIMINAR	M2	794.98	1.86	1,319.87	794.98	1,319.87	100.00%	-	-	0.00%	794.98	1,319.87	100.00%	-	-	0.00%	
2.03	TRANSPORTE DE MOBILIARIO AREQUIPA-MAJES	GLB	2.00	1,050.00	2,100.00	-	-	0.00%	-	-	0.00%	-	-	0.00%	2.00	2,100.00	100.00%	
3.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS.																		
3.01	REFINE, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN	M2	794.78	0.59	468.92	794.78	468.92	100.00%	-	-	0.00%	794.78	468.92	100.00%	-	-	0.00%	
3.02	EXCAVACIÓN PARA ZAPATAS	M3	121.74	23.52	2,863.32	121.74	2,863.32	100.00%	-	-	0.00%	121.74	2,863.32	100.00%	-	-	0.00%	
3.03	EXCAVACIÓN DE ZANJAS POCIMIENTOS CORRIDOS	M3	174.53	19.80	3,420.79	174.53	3,420.79	100.00%	-	-	0.00%	174.53	3,420.79	100.00%	-	-	0.00%	
3.04	RELLENO COMPACTADO, CON COMPACTADORA	M2	65.48	1.71	111.97	65.48	111.97	100.00%	-	-	0.00%	65.48	111.97	100.00%	-	-	0.00%	
3.05	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	M3	184.04	9.80	1,801.59	184.00	1,803.20	94.83%	5.00	49.00	2.58%	189.00	1,852.20	97.40%	5.04	49.39	2.62%	
3.06	TERRAPLEN PARA FALSO PISO OPISÓN DE MANO	M2	432.97	1.65	714.40	432.97	714.40	100.00%	-	-	0.00%	432.97	714.40	100.00%	-	-	0.00%	
3.07	MATERIAL PARA RELLENO	M2	65.48	12.00	785.76	65.48	785.76	100.00%	-	-	0.00%	65.48	785.76	100.00%	-	-	0.00%	
4.00 OBRAS DE CONCRETO SIMPLE.																		
4.01	CONCRETO CEMENTO CORRIDO 1:10 + 30% P.G	M3	181.13	183.67	33,268.15	181.13	33,268.15	100.00%	-	-	0.00%	181.13	33,268.15	100.00%	-	-	0.00%	
4.02	SOLADO PARA ZAPATAS E=4	M2	52.91	19.47	1,030.16	52.91	1,030.16	100.00%	-	-	0.00%	52.91	1,030.16	100.00%	-	-	0.00%	
4.03	CONCRETO SOBRECIMIENTO 1:8 + 20% P.M.	M3	24.25	209.88	5,089.59	24.25	5,089.59	100.00%	-	-	0.00%	24.25	5,089.59	100.00%	-	-	0.00%	
4.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE SOBRECIMIENTOS	M2	222.17	25.81	5,734.21	222.17	5,734.21	100.00%	-	-	0.00%	222.17	5,734.21	100.00%	-	-	0.00%	
4.05	FALSO PISO, E=4" (1:8 CEMENTO HORMIGÓN)	M2	438.17	27.79	12,204.53	300.00	8,337.00	68.31%	138.17	3,867.53	31.69%	438.17	12,204.53	100.00%	0.00	0.00	0.00%	
5.00 OBRAS DE CONCRETO ARMADO																		
5.01	CONCRETO ZAPATAS F'c=210 KG/CM2	M3	26.45	309.67	8,190.77	26.45	8,190.77	100.00%	-	-	0.00%	26.45	8,190.77	100.00%	-	-	0.00%	
5.02	ZAPATAS, ACERO F'y=4200 KG/CM2	KG	341.42	4.19	1,430.55	341.42	1,430.55	100.00%	-	-	0.00%	341.42	1,430.55	100.00%	-	-	0.00%	
5.03	CONCRETO VIGAS DE CIMENTACIÓN F'c=210 KG/CM2	M3	30.83	316.35	9,753.07	30.83	9,753.07	100.00%	-	-	0.00%	30.83	9,753.07	100.00%	-	-	0.00%	
5.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGAS DE CIMENTACIÓN	M2	306.39	34.44	10,552.07	306.39	10,552.07	100.00%	-	-	0.00%	306.39	10,552.07	100.00%	-	-	0.00%	
5.05	VIGAS DE CIMENTACIÓN, ACERO F'y=4200 KG/CM2	KG	3,374.48	4.19	14,139.07	3,374.48	14,139.07	100.00%	-	-	0.00%	3,374.48	14,139.07	100.00%	-	-	0.00%	
5.06	CONCRETO COLUMNAS F'c=210 KG/CM2	M3	69.75	379.13	26,444.32	69.75	26,444.32	100.00%	-	-	0.00%	69.75	26,444.32	100.00%	-	-	0.00%	
5.07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE COLUMNAS	M2	982.48	36.31	35,673.12	982.48	35,673.12	100.00%	-	-	0.00%	982.48	35,673.12	100.00%	-	-	0.00%	
5.08	COLUMNAS, ACERO F'y=4200 KG/CM2	KG	6,562.81	4.19	27,581.97	6,562.81	27,581.97	100.00%	-	-	0.00%	6,562.81	27,581.97	100.00%	-	-	0.00%	
5.09	CONCRETO VIGAS, F'c=210 KG/CM2	M3	52.13	330.63	17,235.74	52.13	17,235.74	100.00%	-	-	0.00%	52.13	17,235.74	100.00%	-	-	0.00%	
5.10	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGAS	M2	581.58	44.84	26,078.05	581.58	26,078.05	100.00%	-	-	0.00%	581.58	26,078.05	100.00%	-	-	0.00%	
5.11	VIGAS, ACERO F'y=4200 KG/CM2	KG	5,866.80	4.19	24,664.85	5,866.80	24,664.85	100.00%	-	-	0.00%	5,866.80	24,664.85	100.00%	-	-	0.00%	
5.12	CONCRETO EN VIGAS, F'c=210 KG/CM2	M3	1.51	372.41	562.34	1.51	562.34	100.00%	-	-	0.00%	1.51	562.34	100.00%	-	-	0.00%	
5.13	CONCRETO EN LOSA ALUGERADA, F'c=210 KG/CM2	M3	17.48	319.42	5,577.07	17.48	5,577.07	100.00%	-	-	0.00%	17.48	5,577.07	100.00%	-	-	0.00%	
5.14	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA ALUGERADA	M2	219.82	29.22	6,423.14	219.82	6,423.14	100.00%	-	-	0.00%	219.82	6,423.14	100.00%	-	-	0.00%	
5.15	LOSAS ALUGERADAS, ACERO F'y=4200 KG/CM2	KG	3,261.57	4.19	13,749.78	3,261.57	13,749.78	100.00%	-	-	0.00%	3,261.57	13,749.78	100.00%	-	-	0.00%	
5.16	LADRILLOS PARA TECHO, 15X30X30 CM. MECANIZADO	UND	2,025.45	5.29	10,714.63	2,025.45	10,714.63	100.00%	-	-	0.00%	2,025.45	10,714.63	100.00%	-	-	0.00%	
5.17	CONCRETO LOSA MACIZA, F'c=210 KG/CM2	M3	46.80	327.24	15,314.63	44.80	14,660.35	95.73%	2.00	854.48	4.27%	46.80	15,314.63	100.00%	-	-	0.00%	
5.18	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA MACIZA	M2	375.75	31.77	11,937.58	365.00	11,506.05	97.14%	10.75	341.53	2.86%	375.75	11,937.58	100.00%	-	-	0.00%	
5.19	LOSAS MACIZAS, ACERO F'y=4200 KG/CM2	KG	6,160.29	4.19	25,811.62	6,060.00	25,391.40	98.37%	100.29	420.22	1.63%	6,160.29	25,811.62	100.00%	-	-	0.00%	
6.00 MUROS Y TABIQUES DE ALBAÑILERIA																		
6.01	MURO DE LADRILLO KK DE ARCILLA 24X4X9, 50 CM	M2	557.51	84.86	47,310.30	557.51	47,310.30	100.00%	-	-	0.00%	557.51	47,310.30	100.00%	-	-	0.00%	

Ing. José Luis Quiroga
MONTADO C.A.P. 2008

[Firma]

-200-



PLANO UBICACION
ESCALA: 1/500

Convenio N°: 2120130007.	Dirección: Ciudad Majes, Modulo B, Sector 3, Mz A5,
Localidad: C.P. Ciudad Majes	Distrito: Majes
Provincia: Caylloma	Departamento y Región: Arequipa



CUADRO DE ÁREAS	
Área total de terreno	1000.00 m ²
Área techada existente	0.00 m ²
Área techada del convenio	566.31 m ²
Área techada total	566.31 m ²
Área libre	401.69 m ²
Área ocupada total	1000.00 m ²

PERIMETRO	130.00 ml
ÁREA DE TERRENO	1000.00 m ²

CONSTRUCCION EXISTENTE ☐
CONSTRUCCION POR FONCODES ☐



PLANO DE LOCALIZACION
ESCALA: 1/500



Proyecto: "CIAI MAJES B".	Profesional:
Plano: Perimétrico.	Arq. Juan Itucayasi Quispe CAP. N° 3667
Escala: 1/500	

U-01