

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

## Facultad de Ingeniería

### Escuela Profesional de Ingeniería Civil



## Tesis

Propuesta de programación de un código para la automatización de metrados en partidas de estructuras de proyectos migrados de CAD a BIM, Cusco-Cusco 2025

### Asesor:

Dr. Soto Palomino Wilfredo

### Autor:

León Arriola, Lenin Alberto

**Para optar el título profesional de**

Ingeniero Civil

Abancay - Apurímac - Perú

2026

## Acta de Sustentación



# Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 007

En la ciudad de Abancay, a los dieciséis días del mes de **enero del 2026**, siendo las **11:00 am** horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° **0030-2026-EPIC-FI-UTEA-SA** de fecha **08 de enero del 2026**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Dictaminante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén
Replicante :	Dr. Alarcón Camacho, Erick

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Propuesta de programación de un código para la automatización de metrados en partidas de estructuras de proyectos migrados de CAD a BIM, Cusco- Cusco 2025**

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

**Br: León Arriola, Lenin Alberto**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
<b>León Arriola, Lenin Alberto</b>	<b>Aprobado</b>

Siendo las **11:45am** horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Ing. Cayo Baca, Holguer

Dictaminante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Replicante: Dr. Alarcón Camacho, Erick

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 005

Abancay 16 de enero del 2026

(\*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.  
(\*\*): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

# Reporte de Similitud






## 6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

### Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



## Metadatos

<b>Datos del autor</b>	
Apellidos y Nombres	: Lenin Alberto León Arriola
Tipo de documento de identidad	: DNI
Numero de documento de identidad	: 76297913
URL ORCID (opcional)	: <a href="https://orcid.org/0009-0006-5054-9722">https://orcid.org/0009-0006-5054-9722</a>
<b>Datos del asesor</b>	
Apellidos y Nombres	: Dr. Soto Palomino Wilfredo
Tipo de documento de identidad	: DNI
Numero de documento de identidad	: 41934951
URL ORCID (opcional)	: <a href="https://orcid.org/0000-0001-5926-8077">https://orcid.org/0000-0001-5926-8077</a>
<b>Datos de la Investigación</b>	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: Diciembre 2024 - Noviembre 2025
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 6%
URL de OCDE	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo a Dios, por guiarnos y darnos fortaleza; a mis familiares y seres queridos, por su apoyo, amor y paciencia; a nuestros compañeros de trabajo, por su colaboración y dedicación; que, con su inspiración, hicieron posible este logro. Este trabajo refleja el esfuerzo compartido, la perseverancia y el compromiso para alcanzar lo que parecía imposible.

## **Agradecimiento**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a Dios, por darme la salud, sabiduría y fortaleza para completar esta etapa tan importante. A mi familia, por su apoyo incondicional, paciencia y confianza, que me impulsaron a seguir adelante. A mis docentes y asesores, por su tiempo, enseñanzas y valiosa orientación en el desarrollo de este proyecto. A mis compañeros y amigos, por su aliento y colaboración a lo largo de este desafío. Y a todas las personas e instituciones que, de una u otra manera, contribuyeron, les extiendo mi más profunda gratitud.

## Resumen

Este estudio evalúa la eficiencia de un código de programación en Dynamo para automatizar los metrados de partidas estructurales en el Centro de Salud de Urcos, proyecto CAD-BIM desarrollado en Cusco en 2025. El objetivo general fue determinar el impacto de la automatización en el tiempo total de metrados, la precisión de las cantidades y el cumplimiento del Reglamento Nacional de Metrados en comparación con el método convencional apoyado solo en Revit.

Cuantitativamente, la automatización redujo el tiempo total de metrados estructurales en 66.9%, pasando de 152 horas con el método convencional a 50.3 horas con el código propuesto, superando el 60% de ahorro en todos los bloques y alcanzando hasta 76.2% en el Bloque III. En concreto armado, los tiempos disminuyeron entre 61.1% y 76.2%, mientras que en acero de refuerzo se obtuvo una reducción promedio de 67.8% en el procesamiento de longitudes, diámetros, traslapes y ganchos, y en encofrado el tiempo se redujo en 65.4%.

En términos de precisión y sustento técnico, la propuesta incrementó la consistencia de los metrados frente al reglamento, mejoró los índices de exactitud en las partidas analizadas y elevó el nivel de cumplimiento normativo en las categorías estructurales evaluadas, validando la hipótesis de mayor eficiencia global del código frente al procedimiento convencional.

**Palabras clave:** automatización BIM, metrados, cuantificación estructural, eficiencia programática, productividad constructiva, automatización Revit, modelado de información de construcción, tecnología constructiva, optimización de proyectos.

## Abstract

This study evaluates the efficiency of a Dynamo programming code for automating quantity takeoffs of structural items in the Urcos Health Center, a CAD-BIM project developed in Cusco in 2025. The general objective was to determine the impact of automation on total takeoff time, quantity accuracy, and compliance with the National Takeoff Regulation compared to the conventional method using only native Revit tools.

Quantitatively, automation reduced total structural takeoff time by 66.9%, from 152 hours with the conventional method to 50.3 hours with the proposed code, exceeding 60% savings across all blocks and reaching up to 76.2% in Block III. In reinforced concrete, times decreased between 61.1% and 76.2%, while rebar processing achieved an average 67.8% reduction in lengths, diameters, splices, and hooks calculations, and formwork time was reduced by 65.4%.

In terms of precision and technical compliance, the proposal increased takeoff consistency with regulations, improved accuracy indices in analyzed items, and elevated normative compliance levels in evaluated structural categories, validating the hypothesis of greater overall efficiency of the code versus conventional procedures.

**Keywords:** BIM automation, quantity takeoffs, CAD migration, structural quantification, programming efficiency, construction productivity, Revit automation, building information modeling, construction technology, project optimization.

## Índice

<b>Portada.....</b>	<b>i</b>
<b>Acta de Sustentación .....</b>	<b>ii</b>
<b>Reporte de Similitud.....</b>	<b>iii</b>
<b>Metadatos .....</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>vi</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>viii</b>
<b>Índice .....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>xii</b>
<b>Índice de anexos .....</b>	<b>xiii</b>
<b>I. Introducción .....</b>	<b>17</b>
<b>II. Planteamiento del problema .....</b>	<b>19</b>
2.1 Descripción y formulación del problema .....	19
2.1.1 Objetivo general. ....	28
2.1.2 Objetivos específicos.....	28
2.2 Justificación e importancia .....	28
2.3 Hipótesis .....	32
2.4 Variables .....	33
<b>III. Marco teórico .....</b>	<b>34</b>
3.1 Antecedentes.....	34
3.2 Bases teóricas .....	43
3.3 Definición de términos .....	51
<b>IV. Metodología.....</b>	<b>67</b>
4.1 Tipo y nivel de investigación .....	67
4.2 Ámbito temporal y espacial.....	68

4.3	Población y muestra .....	69
4.4	Instrumentos .....	71
4.5	Procedimientos .....	72
4.6	Análisis de datos.....	72
<b>V.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>74</b>
5.1	Resultados.....	74
5.1.1	Resultados del objetivo general.....	74
5.1.2	Resultados del objetivo específico 1 .....	75
5.1.3	Resultados del objetivo específico 2 .....	78
5.1.4	Resultados del objetivo específico 3 .....	80
5.2	Discusiones.....	84
5.3	Prueba de hipótesis .....	87
5.3.1	Validación de Hipótesis General .....	91
5.3.2	Validación de Hipótesis Específicas.....	92
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>96</b>
<b>VII.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>102</b>
<b>VIII.</b>	<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>108</b>
<b>IX.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>119</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	Comparativa de reducción del tiempo de metrados por bloques.....	76
<b>Tabla 2</b>	Datos Cuantitativos por Partida Estructural .....	78
<b>Tabla 3</b>	Datos cuantitativos por categoría normativa .....	81
<b>Tabla 4</b>	Prueba para Objetivo A (Tiempo) .....	88
<b>Tabla 5</b>	Prueba para Objetivo B (Precisión).....	89
<b>Tabla 6</b>	Prueba para Objetivo C (Sustento técnico de metrados) .....	90
<b>Tabla 7</b>	Validación de Hipótesis Específica a .....	92
<b>Tabla 8</b>	Validación de Hipótesis Específica b .....	93
<b>Tabla 9</b>	Validación de Hipótesis Específica c .....	94
<b>Tabla 10</b>	Validación de Hipótesis General .....	95

## Índice de figuras

<b>Tabla 1</b>	Comparativa de reducción del tiempo de metrados por bloques.....	76
<b>Tabla 2</b>	Datos Cuantitativos por Partida Estructural .....	78
<b>Tabla 3</b>	Datos cuantitativos por categoría normativa .....	81
<b>Tabla 4</b>	Prueba para Objetivo A (Tiempo) .....	88
<b>Tabla 5</b>	Prueba para Objetivo B (Precisión).....	89
<b>Tabla 6</b>	Prueba para Objetivo C (Sustento técnico de metrados) .....	90
<b>Tabla 7</b>	Validación de Hipótesis Específica a .....	92
<b>Tabla 8</b>	Validación de Hipótesis Específica b .....	93
<b>Tabla 9</b>	Validación de Hipótesis Específica c .....	94
<b>Tabla 10</b>	Validación de Hipótesis General .....	95
<b>Figura 1</b>	Diagrama Ishikawa para identificar las causas raíz de errores en metrados	22
<b>Figura 2</b>	Flujograma del proceso convencional de la extracción de los metrados usando Revit	23
<b>Figura 3</b>	Distribución porcentual del impacto de la automatización en el tiempo total	75
<b>Figura 4</b>	El Comparativa de Tiempo Operativo y Curva de Eficiencia	77
<b>Figura 5</b>	Análisis de Precisión por Partida Estructural	80
<b>Figura 6</b>	Cobertura del sustento normativo requerido	83

## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Matriz de consistencia .....	120
<b>Anexo 2</b> Elaboración e implementación de la propuesta .....	121
<b>Anexo 3</b> Análisis del Expedientes Técnico .....	124
<b>Anexo 4</b> Ubicación geográfica .....	124
<b>Anexo 5</b> Vista satelital del terreno para el nuevo centro de Salud de Urcos.....	125
<b>Anexo 6</b> Implementación de la propuesta .....	127
<b>Anexo 7</b> Partidas de estructuras para la aplicación de la propuesta de automatización de los metrados .....	127
<b>Anexo 8</b> Modelo Bim De estructuras para el análisis de la propuesta .....	131
<b>Anexo 9</b> Modelo BIM de Estructura (Encofrado).....	132
<b>Anexo 10</b> Modelo BIM de Estructura (Acero).....	133
<b>Anexo 11</b> Modelo BIM de Estructura (Sectorización).....	133
<b>Anexo 12</b> Modelo BIM de Estructura (Acero) con filtros .....	134
<b>Anexo 13</b> Planos del Modelo BIM de Estructuras .....	135
<b>Anexo 14</b> Tablas de Planificación del Modelo BIM.....	135
<b>Anexo 15</b> Estructura del código de Dynamo para optimizar los metrados de estructuras.....	136
<b>Anexo 16</b> Grafico de Dynamo para los metrados de los elementos estructurales de la cimentación.....	136
<b>Anexo 17</b> Grafico de Dynamo para los metrados de los elementos estructurales de las columnas.....	140
<b>Anexo 18</b> Grafico de Dynamo para los metrados de los elementos estructurales de las vigas .....	144

<b>Anexo 19</b> Grafico de Dynamo para los metrados de los elementos estructurales de las losas.....	148
<b>Anexo 20</b> Grafico de Dynamo para los metrados de los Elementos Estructurales de los Muros Estructurales y no Estructurales .....	152
<b>Anexo 21</b> Grafico de Dynamo para la asignación de referencia en función a los ejes .....	156
<b>Anexo 22</b> Código de Python en Dynamo de función concatenar calores .....	158
<b>Anexo 23</b> Código de Python en Dynamo de función múltiple.....	159
<b>Anexo 24</b> Grafico de Dynamo para agregar el encofrado a los elementos estructurales del modelo .....	161
<b>Anexo 25</b> Grafico de Dynamo para los metrados de las partidas de acero .....	170
<b>Anexo 26</b> Grafico de Dynamo para la creación masiva de los parámetros para los metrados.....	174
<b>Anexo 27</b> Creación de los parámetros compartidos para el proyecto con dynamo .....	178
<b>Anexo 28</b> Fichas de Validación.....	179
<b>Anexo 29</b> Registro de horas dedicadas al metrado con el método convencional usando Revit como herramienta nativa bloque I .....	184
<b>Anexo 30</b> Registro de horas dedicadas al metrado con el método convencional usando Revit como herramienta nativa bloque II .....	185
<b>Anexo 31</b> Registro de horas dedicadas al metrado con el método convencional usando Revit como herramienta nativa bloque III.....	185
<b>Anexo 32</b> Registro de horas dedicadas al metrado con el método convencional usando Revit como herramienta nativa bloque.....	186

<b>Anexo 33</b> Registro de horas dedicadas al metrado con el método convencional usando Revit como herramienta nativa bloque V.....	186
<b>Anexo 34</b> Registro de horas dedicadas en la implementación del código de automatización bloque I.....	187
<b>Anexo 35</b> Registro de horas dedicadas en la implementación del código de automatización bloque II .....	188
<b>Anexo 36</b> Registro de horas dedicadas en la implementación del código de automatización bloque III.....	189
<b>Anexo 37</b> Registro de horas dedicadas en la implementación del código de automatización bloque IV.....	190
<b>Anexo 38</b> Registro de horas dedicadas en la implementación del código de automatización bloque V .....	191
<b>Anexo 39</b> Cuadro 01 comparativo del análisis del sustento técnico de los metrados y precisión de los resultados .....	192
<b>Anexo 40</b> Cuadro 02 comparativo del análisis del sustento técnico de los metrados y precisión de los resultados .....	193
<b>Anexo 41</b> Gráficos de encuesta de los participantes en la investigación .....	194
<b>Anexo 42</b> Cuadro comparativo de la precisión y adaptabilidad de los metrados según el reglamento de metrados .....	194
<b>Anexo 43</b> Encuestas para la implementación de la propuesta del código de programación de Dynamo.....	195
<b>Anexo 44</b> Grafico de encuesta nro 01 .....	195
<b>Anexo 45</b> Grafico de encuesta nro 02 .....	195
<b>Anexo 46</b> Grafico de encuesta nro 03 .....	196
<b>Anexo 47</b> Grafico de encuesta nro 04 .....	196

<b>Anexo 48</b> Grafico de encuesta nro 05 .....	197
<b>Anexo 49</b> Grafico de encuesta nro 06 .....	197
<b>Anexo 50</b> Grafico de encuesta nro 07 .....	198
<b>Anexo 51</b> Grafico de encuesta nro 08 .....	198
<b>Anexo 52</b> Grafico de encuesta nro 09 .....	199
<b>Anexo 53</b> Grafico de encuesta nro 10 .....	199
<b>Anexo 54</b> Grafico de encuesta nro 11 .....	200
<b>Anexo 55</b> Grafico de encuesta nro 12 .....	200
<b>Anexo 56</b> Grafico de encuesta nro 13 .....	201
<b>Anexo 57</b> Grafico de encuesta nro 14 .....	201
<b>Anexo 58</b> Grafico de encuesta nro 15 .....	202

## I. Introducción

En la industria de la construcción peruana, la etapa de metrados constituye un proceso crítico para la gestión de proyectos, pues define el presupuesto base y la programación de obra; sin embargo, sigue caracterizándose por una alta incidencia de errores humanos, omisiones y tiempos excesivos de ejecución. Investigaciones recientes señalan que, a pesar de la adopción progresiva de herramientas BIM como Revit, los flujos de trabajo convencionales para la cuantificación de partidas estructurales presentan deficiencias significativas en precisión y eficiencia, reportándose discrepancias de volumen y omisiones de elementos que generan sobrecostos durante la ejecución (Espíritu Vargas, 2025; Condori Atencio, 2020; Vargas Vargas, 2022).

El Reglamento Nacional de Metrados (RNM) del Perú establece criterios técnicos rigurosos y desagregados para la medición de obras de concreto armado, exigiendo la diferenciación precisa entre elementos como cimentaciones, vigas, columnas, losas y muros, con unidades de medida específicas para el volumen de concreto (m<sup>3</sup>), el peso de la armadura de acero (kg) y el área de encofrado (M<sup>2</sup>) (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2010; Cámara Peruana de la Construcción CAPECO (2018). No obstante, el software Revit, en su configuración nativa, opera bajo una lógica de categorías y familias internacionales que no se alinean automáticamente con las partidas normadas por el RNM, obligando a los profesionales a realizar múltiples procesos manuales de filtrado y parametrización que diluyen las ventajas de la automatización (Carrera Cosavalente, 2021; Huamán Huamán, 2019).

Específicamente en la partida de concreto, la extracción directa de volúmenes desde el modelo BIM suele arrojar datos inexactos debido a la duplicidad de mediciones en las intersecciones de elementos estructurales (nudos viga-columna o losa-muro), situación que el software no resuelve de forma autónoma según la prelación establecida en la normativa

peruana. Diversos autores advierten que la falta de herramientas de automatización personalizadas provoca que los metrados de concreto obtenidos nativamente requieran revisiones exhaustivas y correcciones manuales en hojas de cálculo externas, incrementando el riesgo de inconsistencia entre el modelo tridimensional y el presupuesto final (Olsen & Taylor, 2017; Reyes, 2021).

La problemática se agudiza en la cuantificación del acero de refuerzo y el encofrado, partidas donde la ineficiencia de las herramientas nativas es más notoria. Para el acero, el modelado manual de cada varilla, estribo y gancho resulta inviable en proyectos de gran envergadura por el consumo excesivo de recursos computacionales y tiempo, mientras que para el encofrado, Revit carece de una herramienta directa para medir áreas de contacto efectivas, obligando a los usuarios a recurrir a métodos poco precisos como pintar caras o calcular áreas geométricas brutas que no descuentan vanos ni intersecciones (Monteiro & Martins, 2013; Porras-Diaz et al., 2021). Esta brecha tecnológica justifica la necesidad de implementar códigos de programación visual (Dynamo) que sistematicen las reglas del RNM, permitiendo una extracción de metrados estructurales rápida, precisa y normativa.

## II. Planteamiento del problema

### 2.1 Descripción y formulación del problema

- Descripción

A nivel mundial, la industria de la construcción enfrenta una problemática crítica y persistente relacionada con la inexactitud en la extracción de cantidades de materiales, problemática que ha sido documentada extensamente por organismos internacionales de investigación y estudios académicos rigurosos. Según Long International (2024), la inexactitud en los metrados representa uno de los errores técnicos más frecuentes en proyectos de construcción globales, generando sobrecostos significativos que pueden superar el 10% del valor contractual, particularmente en grandes obras de ingeniería donde la magnitud de errores se multiplica proporcionalmente.

Palacios y colaboradores (2024), en su investigación publicada en Dialnet sobre automatización BIM y su relación con la información constructiva, documentan que la automatización BIM ha revolucionado significativamente la detección de interferencias, cálculos de mediciones y generación automática de documentación, permitiendo identificación temprana de conflictos entre sistemas. Sin embargo, permanecen limitaciones en la adaptación de estos procesos automáticos a contextos normativos locales específicos que divergen de estándares globales.

Según el informe de Buildern (2025), el retrabajo causado por errores en metrados, estimaciones imprecisas y especificaciones técnicas deficientes representa entre el 4.5% y el 9% del costo total anual de la industria de la construcción global, equivalente a pérdidas de cientos de miles de millones de dólares estadounidenses anualmente. Esta cifra subraya la magnitud sistemática de esta ineficiencia, afectando la competitividad global del sector.

Estudios internacionales recientes Rehman et al. (2025) sobre beneficios de BIM 4D en proyectos de construcción documentan que aunque BIM proporciona herramientas

avanzadas, la implementación completa requiere adaptaciones metodológicas específicas para optimizar beneficios en contextos locales, evidenciando que la solución no es únicamente tecnológica sino requiere personalización normativa.

A nivel internacional, estudios demuestran que la automatización de procesos constructivos mediante BIM genera mejoras significativas. Según datos de SWapp (2025), las herramientas automatizadas pueden reducir tiempo de documentación entre 40% y 70%, dependiendo del tamaño y complejidad del proyecto. Para proyectos donde típicamente se invierten 400 horas en documentación, la automatización podría reducir esta cantidad a 150-200 horas, generando ahorros económicos superiores a \$30,000 USD por proyecto.

Ergen (2021) en su investigación sobre desarrollo de software BIM mediante programación Python, documentó que la programación en lenguajes estructurados permite cálculos precisos de quantity takeoff para concreto y encofrado. El estudio reveló que las computaciones de quantity takeoff ejecutadas en BIM se completan en duraciones significativamente menores comparadas con cálculos manuales, además de evitar simplificaciones que generan errores en intersecciones entre elementos.

Según el "Segundo Estudio sobre Implementación de BIM en Proyectos de Construcción en Lima y Callao" realizado por la Pontificia Universidad Católica del Perú en 2021, la adopción de BIM en la industria de la construcción nacional permanece significativamente baja, afectando solamente entre el 20% a 25% de las más de 2,300 empresas constructoras registradas a nivel nacional. Este bajo nivel de penetración indica que la mayoría de empresas constructoras continúan utilizando metodologías convencionales o implementaciones básicas de BIM sin optimización.

El "Tercer Estudio de Adopción BIM en Proyectos de Edificación en Lima 2023" conducido por el Departamento de Ingeniería de la PUCP documentó que aunque existe mejora marginal en madurez BIM general, persiste estancamiento significativo en adopción

a nivel nacional, particularmente en micro y pequeñas empresas constructoras, proyectistas de arquitectura e ingeniería, y subcontratistas. El informe enfatiza urgencia de generar estrategias de capacitación sistemática para mejorar madurez digital del sector.

De manera paradójica, mientras adopción de BIM permanece baja, el Estado peruano ha establecido mandatos crecientes. El Ministerio de Economía y Finanzas, mediante Resolución Directoral N° 0001-2022-EF/63.01, estableció directivas obligatorias para adopción de BIM en proyectos públicos de categoría "B", donde se encuentra la mayoría de proyectos de inversión pública. El plan BIM Perú 2030, aprobado mediante Decreto Supremo N° 237-2019-EF, concibe iniciativas políticas para implementación gradual de BIM en sector público, reconociendo interés nacional explícito en adoptar esta metodología.

Por otro lado, Taquire (2019) en investigación sobre problemas en ejecución de expedientes técnicos durante construcción de obras de infraestructura pública en Perú, documentó mediante estudio en Lima que deficiencias en metrados se relacionan directamente con mala ejecución de obras. El estudio incluyó encuesta a 25 ejecutores de obra con experiencia como ingenieros residentes, permitiendo análisis de errores y comprensión de efectos de documentación técnica deficiente.

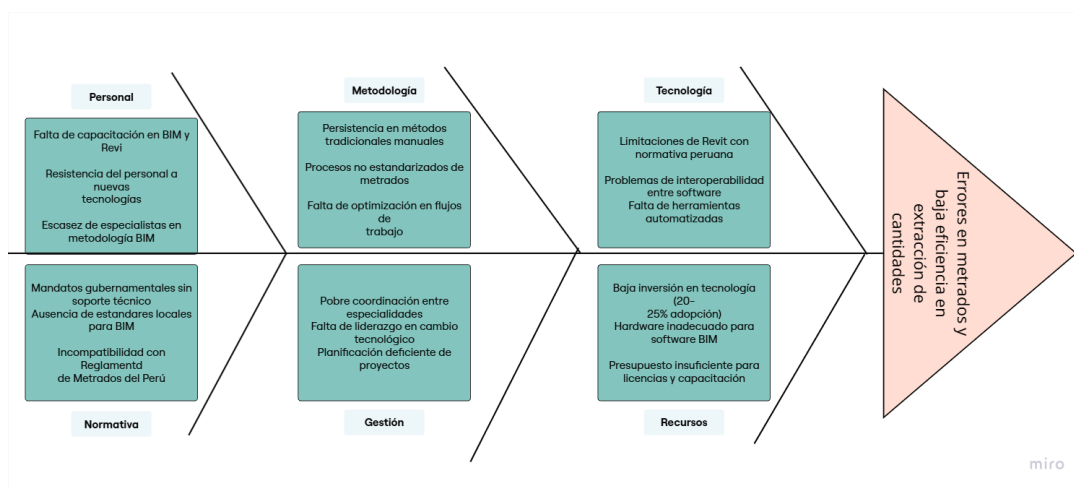
Según Vargas et al. (2024) documentan que actuante proyectos de construcción en Perú presentan aumentos presupuestales de aproximadamente 34% del valor original proyectado debido a alteraciones de componentes durante proceso constructivo. Un estudio de 2024 concluyó que el 80% de solicitudes de prestaciones adicionales (ampliaciones de plazo y presupuesto) en proyectos de infraestructura pública se debió a deficiencias en expediente técnico, siendo errores u omisiones en cálculo de metrados el factor predominante.

Según investigaciones peruanas contemporáneas (2023-2024), Revit presenta limitaciones técnicas significativas cuando se trata de generar metrados que cumplan

específicamente con criterios del Reglamento Nacional de Metrados peruano. La norma técnica "Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación" (R.D. N° 073-2010-VIVIENDA-VMCS-DNC) establece criterios técnicos muy precisos que Revit no implementa automáticamente: descuento de intersecciones entre elementos estructurales, medición específica de encofrado en losas aligeradas incluyendo superficie de ladrillos huecos, e inclusión obligatoria de traslapes y ganchos en acero de refuerzo según normativa E.060. Estos criterios normativos no se pueden extraer automáticamente de reportes nativos de Revit, requiriendo procesos manuales externos en hojas de cálculo Excel.

### Figura 1

Diagrama Ishikawa para identificar las causas raíz de errores en metrados

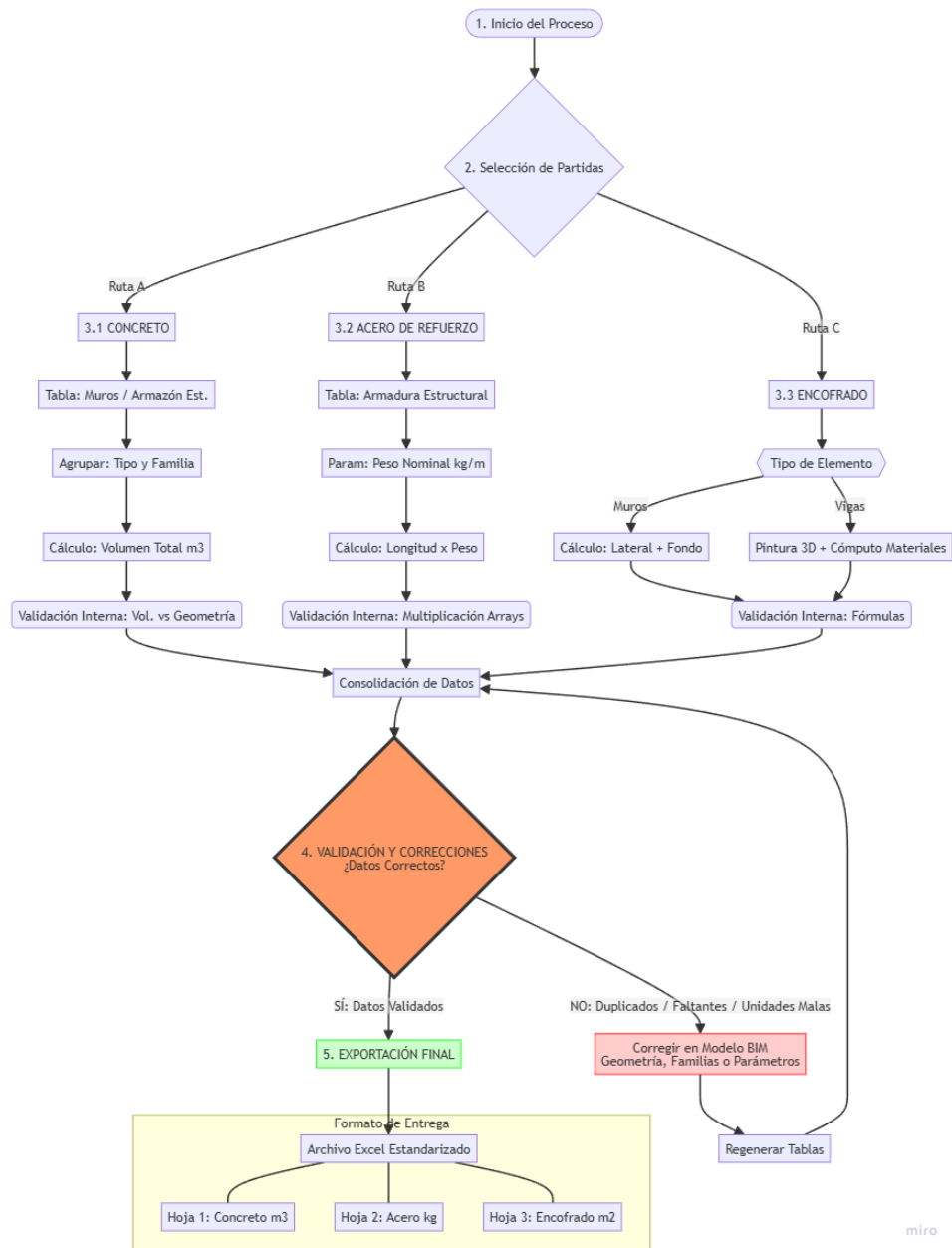


*Nota.* El gráfico mostrado se muestra las principales causas por el cual se tiene errores en la extracción de los metrados.

En respuesta a esta brecha normativa, investigadores y profesionales peruanos han comenzado a desarrollar soluciones mediante Dynamo. El video "Metrados Automáticos 2023 (Revit - Dynamo)" publicado por Chamorro (2023) documenta: "Las mediciones o metrados en los proyectos BIM de acuerdo a nuestras normas siguen siendo una interrogante, por lo que presentamos una forma automatizada con Revit y Dynamo para lograr los metrados en tablas de acuerdo a lo especificado en el Reglamento de Metrados Peruano."

**Figura 2**

*Flujograma del proceso convencional de la extracción de los metrados usando Revit*



*Nota.* En el diagrama se muestra el flujo de proceso para obtener los metrados de manera nativa de Revit sin automatización.

Por su parte Diaz Veramendi y Morales Castillo (2024) en su tesis "Implementación de Dynamo y PowerBI para automatizar la obtención de metrados y reportes en expedientes técnicos de colegios públicos ejecutados por PRONIED", documentaron resultados

significativos de automatización con Dynamo. Su investigación implementó código en Dynamo para automatizar extracción de metrados en proyectos educativos.

Los resultados del estudio revelaron que implementar la propuesta desde puesta en marcha toma 7.5 horas, lo que significa mejora de 77% del tiempo respecto a extracción de metrado convencional. Además, en edificaciones similares con código ya generado, se lograron reducciones de tiempo superiores al 90%, optimizando recursos asignados a la actividad. El 95% de expertos encuestados para validación de propuesta encontraron resultados obtenidos como confiables.

Este caso de éxito documenta viabilidad técnica y potencial impacto de automatización mediante Dynamo en contexto peruano, demostrando que soluciones programadas pueden generar mejoras dramáticas en eficiencia operativa mientras mantienen confiabilidad técnica.

En la actualidad, la mayoría de proyectistas en la región de Cusco siguen utilizando metodologías convencionales para obtención de metrados con bajo nivel de desarrollo técnico, o implementan Revit pero con limitaciones técnicas que impiden generar metrados en concordancia directa con Reglamento Nacional de Metrados. Los reportes generados por Revit no reflejan automáticamente los criterios normativos peruanos específicos, requiriendo correcciones manuales extensas en hojas de cálculo Excel.

El procedimiento actual en la región comienza con apertura y verificación manual del modelo en Revit, categorización manual de elementos estructurales, configuración manual de parámetros, análisis manual de ubicación, transferencia incremental de datos a Excel, validación cruzada manual de cálculos, y finalmente documentación manual de resultados. Este procedimiento es predominantemente manual, tendiendo a generar flujos retardados, consumiendo entre 40 a 80 horas de trabajo profesional por proyecto de complejidad media.

La transición obligatoria del uso de AutoCAD a Revit en la región se enfrenta a desafíos significativos derivados de implementación del entorno BIM paramétrico. El uso combinado de AutoCAD, Excel y Revit ha revelado limitaciones operativas serias, especialmente en adaptación del equipo técnico al software Revit, que es nuevo para muchos profesionales en la región y presenta restricciones técnicas en generación de ubicaciones etiquetadas manualmente y estandarización de encofrados para elementos estructurales según normativa peruana.

El principal desafío operativo radica en falta de experiencia generalizada del equipo técnico en manejo de Revit como software de modelado 3D paramétrico que difiere significativamente de herramientas 2D convencionales de AutoCAD. No existen protocolos estandarizados a nivel nacional o regional para implementar BIM según Reglamento de Metrados peruano, representando vacío normativo que obliga a cada profesional a desarrollar soluciones personalizadas sin documentación sistemática.

El Centro de Salud de Urcos, ubicado en la provincia de Quispicanchis del departamento de Cusco, representa un proyecto real de inversión pública de complejidad estructural media que requiere cuantificación precisa de partidas de concreto, acero de refuerzo y encofrado según normativa nacional. Este proyecto ha sido migrado de metodología CAD a BIM (Revit), presentando los desafíos descritos anteriormente: reportes no conformes con Reglamento Nacional de Metrados, requiriendo procesos manuales de corrección.

El proyecto incluye elementos estructurales diversos (losas aligeradas, vigas de diferentes secciones, columnas con variación de secciones, cimentaciones) que requieren cuantificación precisa según criterios normativos peruanos específicos. La implementación de código de automatización en Dynamo en este proyecto permitirá validar en entorno real

la eficacia de la propuesta, demostrando mejoras en tiempo, precisión y conformidad normativa.

La motivación fundamental que orientó la selección de este tema de investigación emanó de la identificación de una brecha operativa crítica y persistente entre las capacidades de automatización ofrecidas por herramientas BIM estándar globales (específicamente Revit) y los requisitos técnicos especializados establecidos por el marco normativo peruano para la cuantificación de materiales constructivos. Reconociendo una oportunidad única de integrar competencias técnicas especializadas en programación visual para BIM (específicamente mediante Dynamo, herramienta de programación paramétrica integrada en Revit) con el conocimiento normativo peruano específico, esta investigación se propone desarrollar una solución programática que automatice sistemáticamente la extracción de metrados conforme a los criterios técnicos rigurosos establecidos en el Reglamento Nacional de Metrados peruano (R.D. N° 073-2010-VIVIENDA-VMCS-DNC). Esta convergencia entre capacidades tecnológicas desarrolladas personalmente, requisitos normativos especializados y necesidades operativas reales del sector construcción regional constituye la motivación central que orienta esta investigación aplicada de relevancia práctica inmediata.

- Formulación del problema de investigación.

### **Problema General**

¿Cuál es la eficiencia del código de programación para la automatización de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025?

### **Problemas Específicos**

- a) ¿Cuál es la eficiencia del código de programación para la automatización en la reducción del tiempo de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025?
- b) ¿Cuál es la eficiencia del código de programación para la automatización en la mejora de la precisión de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025?
- c) ¿Cuál es la eficiencia del código de programación para la automatización en el sustento técnico normativo de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025?

### **2.1.1 Objetivo general.**

Determinar la eficiencia del código de programación para la automatización de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025.

### **2.1.2 Objetivos específicos.**

- a) Evaluar la eficiencia del código de programación para la automatización en la reducción del tiempo de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025.
- b) Evaluar la eficiencia del código de programación para la automatización en la mejora de la precisión de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025.
- c) Evaluar la eficiencia del código de programación para la automatización en el sustento técnico normativo de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025.

## **2.2 Justificación e importancia**

### **Justificación Teórica**

Esta investigación se justifica teóricamente por la necesidad de cerrar la brecha entre los fundamentos de Building Information Modeling (BIM) basados en parametrización digital, interoperabilidad de datos y automatización de procesos Eastman et al. (2011) y su aplicación bajo marcos normativos locales peruanos específicos, laguna insuficientemente abordada en literatura académica internacional. Los reportes automáticos de Revit reproducen algoritmos globales diseñados según estándares constructivos internacionales, sin contemplar criterios especializados del Reglamento Nacional de Metrados peruano como descuento de intersecciones, medición de encofrado en losas aligeradas e inclusión de traslapes en acero de refuerzo.

La teoría de automatización de procesos proporciona fundamentación para resolver esta brecha. Van der Aalst et al. (2003) demuestran que scripts y códigos que adapten la lógica de procesamiento de datos pueden resolver discrepancias entre sistemas generalizados y requisitos locales específicos mediante sistematización de patrones de flujo de trabajo. Esta investigación sintetiza tres teorías complementarias: (1) parametrización digital (Boeykens, 2012; Eastman et al., 2011) que captura información estructural completa en BIM, (2) automatización de procesos que transforma datos geométricos según criterios normativos peruanos, y (3) interoperabilidad entre sistemas mediante Python integrado en Dynamo, conectando estándares globales con requisitos locales.

Por lo tanto la investigación contribuye a la teoría de transferencia tecnológica adaptativa, reconociendo que tecnologías desarrolladas globalmente requieren reinterpretación y reconfiguración para contextos locales con marcos normativos específicos UNCTAD (2005). Desarrollar un código documentado y validado científicamente demuestra cómo adaptar herramientas BIM a regulaciones nacionales, con potencial aplicabilidad en otros países latinoamericanos enfrentando incompatibilidades similares.

### **Justificación Práctica**

Esta investigación aborda una problemática operativa real y documentada con impacto económico considerable. Los errores en extracción de metrados causan sobrecostos de hasta 34% en proyectos peruanos (Taquire, 2019; Vargas, 2024), generando pérdidas económicas sustanciales para contratistas, propietarios privados y entidades públicas. Existe incompatibilidad operativa documentada entre herramientas BIM estándar y requisitos específicos del Reglamento Nacional de Metrados, obligando a profesionales a realizar correcciones manuales extensas en Excel, duplicando procedimientos e incrementando riesgo de errores.

La automatización mediante Dynamo puede reducir significativamente los tiempos de extracción entre 50% a 70% respecto a metodologías convencionales (Diaz Veramendi & Morales Castillo, 2024). Para proyectos de complejidad media en Cusco, esto representa ahorros de 40 a 80 horas por expediente técnico, equivalente a 1,200 a 2,400 USD por proyecto. Para empresas ejecutando 5 a 10 proyectos anuales, los ahorros acumulativos alcanzarían 6,000 a 24,000 USD, justificando inversión en capacitación.

La minimización de errores humanos es crítica. La extracción manual es propensa a omisiones de elementos, cálculos incorrectos de intersecciones, olvido de traslapes en acero y aplicación inconsistente de descuentos normativos. Un código validado garantiza consistencia, determinismo y reproducibilidad sin variabilidad humana involuntaria. Adicionalmente, la automatización garantiza cumplimiento del Reglamento Nacional de Metrados (R.D. N° 073-2010), generando documentación técnicamente válida, normativamente conforme y legalmente defensible ante organismos supervisores como el OSCE, reduciendo riesgo legal, conflictividad contractual y retrabajos costosos.

Esta investigación formaliza científicamente una solución replicable, estableciendo protocolo estándar para la región de Cusco y potencialmente para la industria peruana.

### **Justificación Metodológica**

Esta investigación se justifica metodológicamente por la necesidad de validar científicamente una solución tecnológica mediante métodos rigurosos que demuestren su eficacia operativa, confiabilidad técnica y replicabilidad en contextos reales complejos. Aunque existen publicaciones sobre BIM y automatización, carecen de validación empírica rigurosa en contextos peruanos con marcos normativos divergentes. Un diseño cuasi-experimental compara controladamente el método convencional (Revit + Excel manual) versus la solución automatizada (Revit + Dynamo), permitiendo conclusiones causales sobre la superioridad de la automatización.

La investigación establece métricas cuantificables, objetivas y verificables: tiempo en horas de trabajo, precisión como porcentaje de error, e iteraciones de corrección necesarias. Sin esta validación metodológica rigurosa, las mejoras permanecerían como afirmaciones anecdóticas sin respaldo cuantitativo comprobable. El código requiere validación exhaustiva verificando que procesa correctamente tipología estructural peruana (losas aligeradas, vigas, columnas, muros, cimentaciones), aplica criterios normativos peruanos en todos los casos, maneja excepciones sin fallas, y produce resultados reproducibles en múltiples ejecuciones. Un protocolo integral de validación documentado garantiza confiabilidad antes de implementación profesional real.

El control cuidadoso de variables dentro de un entorno real (Centro de Salud de Urcos) mantiene rigor experimental evitando artificialidad de laboratorios académicos. La investigación controla complejidad estructural equivalente, tamaño de proyecto idéntico, datos de entrada únicos e idénticos, y criterios normativos constantes, aislando efectivamente el efecto causal de la automatización mediante Dynamo.

La documentación exhaustiva de arquitectura técnica permite transferencia de conocimiento sistemática y reproducción de resultados. Incluye lógica algorítmica detallada, criterios normativos implementados, procedimientos de validación técnica, limitaciones identificadas, alcances de aplicabilidad, y protocolos de replicación para investigadores posteriores, profesionales BIM y empresas constructoras.

La investigación integra métodos cuantitativos (cronometraje de tiempos, análisis estadístico de precisión, cálculo de reducciones porcentuales), cualitativos (análisis de procesos, documentación de aprendizajes, entrevistas con profesionales), y técnicos (pruebas exhaustivas de funcionalidad, casos de prueba complejos, análisis de resultados versus valores normativos esperados), proporcionando validación robusta desde múltiples perspectivas epistemológicas.

Finalmente, establece un modelo de investigación aplicada replicable y transferible a otras especialidades BIM (arquitectura, instalaciones eléctricas y sanitarias) y jurisdicciones latinoamericanas enfrentando desafíos similares de adaptación de software global a requisitos normativos locales, multiplicando impacto potencial más allá del caso específico estudiado.

## **2.3 Hipótesis**

### **Hipótesis general**

La implementación de un código de programación para la automatización de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025, incrementa sustancialmente la eficiencia en tiempo, precisión y recursos frente a los métodos tradicionales de metrado con Revit en Cusco durante 2025.

### **Hipótesis específicas**

- a) La implementación de un código de programación para la automatización de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025, reduce significativamente el tiempo en comparación con el método convencional en proyectos con Revit.
- b) La implementación de un código de programación para la automatización de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025, mejora sustancialmente la precisión en comparación con el método convencional en proyectos con Revit.
- c) La implementación de un código de programación para la automatización de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025, fortalece el sustento técnico-normativo en comparación con el método convencional en proyectos con Revit.

## 2.4 Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN DE VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM/UND	INSTRUMENTOS
<b>Código de programación en Dynamo para la automatización</b>	Según Nezamaldin (2020) El código de programación en Dynamo se obtiene mediante la definición sistemática de flujos de trabajo visuales basados en nodos que expresan funciones lógicas conectadas entre sí en una estructura de grafo acíclico dirigido Nezamaldin (2020). Para aplicaciones de automatización en Revit, se utiliza un enfoque de programación visual que integra directamente con la estructura de datos del software de modelado, permitiendo que los scripts accedan, manipulen y generen información de manera consistente. Esta integración cobra particular relevancia en vista que el Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado Peruano (2015) exige precisión en la cuantificación de partidas de obra, requisito que Dynamo permite garantizar mediante scripts que extraen y manipulan propiedades de objetos BIM sin intervención manual repetitiva, reduciendo así la probabilidad de errores de transcripción o interpretación.	Usado como un lenguaje de programación para la creación de scripts para el programa Autodesk Revit, permitiendo automatizar procesos según la necesidad del proyecto modelado, ayudándose con la API de Revit que facilita un conjunto de subrutinas, funciones y procedimientos del software.	Estructura	Número de Módulos/Funciones	numérica	Análisis de código fuente; Herramientas de métricas
			Eficiencia	Tiempo de Ejecución Promedio Total	minutos/horas	Lista de verificación o registro de conteo
			Funcionalidad	Cantidad de Tipos de Elementos Soportados	numérica	Inventario de elementos; Lista de capacidades
			Seguridad	Validación de Integridad del Modelo BIM Origen	Porcentual	Herramientas de validación BIM; Checklists de modelo
<b>Metrados en partidas de estructuras</b>	Según Norma Técnica de Metrados Peruana (RD-073-2010) los metrados en partidas de estructuras se obtienen mediante el cálculo ordenado o cuantificación sistemática de longitudes, áreas y volúmenes de elementos estructurales que conforman la totalidad del proyecto constructivo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010). Para partidas específicas de obras de concreto armado y acero, se implementa la metodología establecida en la Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas (RD-073-2010-VIVIENDA), que constituye el marco regulatorio nacional para cuantificación de obras.	La precisión de metrado: se puede medir la precisión del metrado en términos de desviación de los valores obtenidos en comparación con los valores reales. Por ejemplo, se podría comparar los valores obtenidos en el metrado de una estructura con los valores reales de la estructura.	Tiempo	Mejora de Tiempo (Reducción Porcentual)	horas	Análisis documental o registro de costos
			Precisión	Fiabilidad de Metrados Automatizados	% / escala	Comparativa con referencias validadas; Pruebas de exactitud
			Sustento Técnico Normativo	Cumplimiento con Reglamento de Edificaciones (RNM)	Sí/No / %	Verificación contra Reglamento Nacional de Metrados; Checklist de normativa

Cuadro de operacionalización de variables

### **III. Marco teórico**

#### **3.1 Antecedentes**

Según Li et al. (2021) realizaron un estudio titulado “Impact of BIM-based Quantity Takeoff for Accuracy of Cost Estimation”, en el cual aplicaron un enfoque de investigación deductivo con el propósito de desarrollar una investigación de tipo descriptiva. Los autores utilizaron un diseño de investigación cuantitativo para evaluar el impacto de las ventajas y desventajas en la precisión de la estimación de costos, y emplearon un enfoque correlacional para analizar las relaciones entre variables mediante una encuesta aplicada a expertos de la industria. Los datos recopilados presentaron características de naturaleza ambivalente, identificando tanto factores positivos como negativos que afectan la precisión. Dando como resultado de la investigación, se concluyó que la precisión del BIM-basado QTO es significativamente superior, siendo identificados cuatro elementos clave para mejorar la precisión estimativa. La investigación destaca que equipar a los estimadores con conocimientos especializados en software es la medida más significativa para incrementar la exactitud. Estos elementos incluyen: 1) la capacitación integral de estimadores en herramientas BIM para minimizar errores en la extracción de cantidades; 2) el establecimiento de directrices específicas para la modelación orientada a QTO que aseguren la consistencia en la información del proyecto; 3) la implementación de procesos de validación y auditoría de modelos BIM antes de la extracción de cantidades; y 4) la integración de sistemas de retroalimentación que permitan el aprendizaje organizacional y la mejora continua en los procesos de estimación.

En la misma línea, Ng et al. (2024) llevaron a cabo un estudio titulado “BIM Quantity Takeoffs with Power BI and Frame Integration”, el cual se basó en un enfoque de investigación deductivo y tuvo como objetivo desarrollar una investigación descriptiva centrada en la integración tecnológica avanzada. Los autores emplearon un diseño de investigación cualitativo para comprender en profundidad la interoperabilidad entre

plataformas., y se aplicó un enfoque correlacional para examinar las relaciones entre extracción de cantidades y visualización de datos. Los datos recopilados presentaron características de naturaleza ambivalente, mostrando tanto ventajas de integración como limitaciones de interoperabilidad. Dando como resultado de la investigación, se identificaron cuatro elementos clave para implementación exitosa de QTO avanzado. Es fundamental que la extracción de cantidades BIM se integre con herramientas de visualización para aprovechar plenamente el potencial analítico de los datos. Estos elementos incluyen: 1) la integración de modelos BIM con herramientas de business intelligence como Power BI para análisis y presentación de datos de cantidades; 2) la implementación de flujos de trabajo que permitan exportar información de Revit a plataformas de análisis de datos de manera automática; 3) la utilización de Frame como plataforma colaborativa para revisión y validación de cantidades extraídas del modelo BIM; y 4) la generación de reportes dinámicos que faciliten la toma de decisiones en estimación de costos y presupuesto de proyectos.

De igual forma, McClymonds (2023) desarrolló una investigación titulada “Exploring the Challenges of Implementing Parametric Modeling for Robotic Construction”, la cual se basó en un enfoque de investigación deductivo y tuvo como objetivo realizar un estudio de tipo descriptivo. Se utilizó un diseño de investigación cualitativo para comprender en profundidad los desafíos asociados con la modelización computacional, y se aplicó un enfoque exploratorio para investigar métodos viables de integración entre BIM y sistemas robóticos. Los datos recopilados utilizando Dynamo y Autodesk Revit presentaron características de naturaleza compleja, mostrando tanto ventajas como limitaciones técnicas. Dando como resultado de la investigación, se identificaron cuatro elementos críticos para la implementación exitosa de modelización paramétrica. Es esencial abordar los desafíos de interoperabilidad y la necesidad de aumentar el Level of Development (LOD) de los modelos BIM para aplicaciones robóticas. Estos elementos

incluyen: 1) la necesidad de elevar el LOD de sistemas específicos del nivel 100 al 400 utilizando modelización computacional para generar contenido automático de modelo; 2) la importancia de integrar información externa como especificaciones de proyecto, datos topológicos y bibliotecas de contenido de materiales en los flujos de trabajo de Dynamo; 3) el desarrollo de métodos viables para la extracción y suplementación de información BIM que facilite la transferencia a plataformas de construcción robótica; y 4) el establecimiento de marcos de trabajo que permitan superar barreras de interoperabilidad entre diferentes sistemas de software y hardware robótico.

Por otro lado, Alathamneh et al. (2024) realizaron un estudio titulado “BIM-based Quantity Takeoff: Current State and Future Prospects”, el cual se basó en un enfoque de investigación deductivo y tuvo como objetivo desarrollar una investigación descriptiva mediante el análisis sistemático PRISMA. Los autores emplearon un diseño de investigación cualitativo para comprender en profundidad el fenómeno estudiado, y se aplicó un enfoque correlacional para examinar las relaciones entre variables en 52 artículos de revistas especializadas. Los datos recopilados presentaron características de tendencias actuales y perspectivas futuras en metodología 5D BIM. Dando como resultado de la investigación, se identificaron cuatro elementos fundamentales para la implementación sostenible. Es fundamental establecer una estrategia integral que considere tanto las ventajas como los desafíos tecnológicos y profesionales. Estos elementos incluyen: 1) la implementación de estrategias de gestión que enfatizan en la capacitación profesional para cerrar la brecha de competencias en BIM; 2) la mejora continua del software mediante avances en API y la integración de metodologías como Life Cycle Costing (LCC) y Life Cycle Assessment (LCA); 3) la adopción de tecnologías emergentes como el procesamiento de lenguaje natural para optimizar la extracción automática de cantidades; y 4) el desarrollo de marcos

conceptuales sostenibles que guíen a las organizaciones en la implementación holística de la metodología BIM-basada QTO.

Por otro lado, Corrales y Saravia (2020) desarrollaron una investigación titulada “Ventajas del BIM en la Compatibilización de Proyectos”, la cual se basó en un enfoque de investigación deductivo y tuvo como objetivo realizar un estudio de tipo descriptivo. Se utilizó un diseño de investigación cualitativo con enfoque correlacional para analizar la relación entre compatibilización BIM y detección de interferencias. Los datos recopilados presentaron características ambivalentes, donde la modelación virtual integrada de especialidades permite identificación temprana de conflictos. Dando como resultado de la investigación, se determinó que la compatibilización BIM identifica y controla interferencias en etapas iniciales del proyecto. Es determinante el valor de la virtualización integrada para anticipar problemas geométricos e incompatibilidades entre especialidades. Estos elementos incluyen: 1) la confirmación de que BIM centraliza toda la información del proyecto desde etapa de preconstrucción, siendo accesible a todas las especialidades de proyectistas; 2) la integración de todas las especialidades en un modelo único que facilita la identificación de interferencias y/o incompatibilidades geométricas; 3) la ventaja de aproximadamente 25% en detección de conflictos comparada con método manual, permitiendo discusión y clarificación de cambios necesarios en fases tempranas de desarrollo; y 4) la reducción de costos por retrabajos mediante anticipación de problemas antes de etapa de construcción.

De la misma manera, Reyes (2021) realizó un estudio titulado “Automatización en la Medición de Materiales en Construcción mediante Software BIM”, el cual se basó en un enfoque de investigación deductivo y tuvo como objetivo desarrollar una investigación de tipo descriptivo. Se empleó un diseño de investigación cuantitativo para comparar precisión, tiempo y recursos entre Revit y método manual, y se utilizó una metodología de investigación cuantitativa centrándose en un proyecto de construcción real con dos fases de

análisis. Los datos recopilados presentaron características numéricas basadas en mediciones precisas, documentando errores derivados del factor humano. Dando como resultado de la investigación, se concluyó que el uso de Revit identifica diferencias significativas en presupuestos iniciales. Es importante destacar cómo el software BIM corrige errores sistemáticos causados por limitaciones humanas. Estos elementos incluyen: 1) la identificación de diferencia del 4.53% entre costos iniciales y costos utilizando Revit, atribuible principalmente a errores, omisiones y excesos de metrados causados por factor humano; 2) la documentación precisa de cómo la automatización BIM detecta y corrige estos errores sistemáticamente; 3) el análisis detallado del proceso de medición manual para establecer línea base de comparación; y 4) la validación cuantitativa que demuestra la superioridad de presupuestos elaborados con herramientas BIM frente a métodos tradicionales.

En el contexto peruano, Yauri (2021) desarrolló una tesis de pregrado titulada “Automatización de Procesos en Construcción mediante Programación C-Sharp y Dynamo Revit”, la cual se basó en un enfoque de investigación tecnológico, dado que empleó la programación en C-Sharp, y tuvo un nivel de investigación explicativo. El autor utilizó un diseño de investigación preexperimental con un solo grupo, realizándose pretest y posttest en un proyecto de infraestructura educativa con enfoque VDC durante etapa de licitación. Los datos recopilados presentaron características de auditoría de modelo paramétrico BIM, mostrando mejoras dramáticas en eficiencia de revisión. Dando como resultado de la investigación, se demostró que los add-ins desarrollados optimizan significativamente el control de modelos. Es fundamental la aceptación industrial de herramientas de automatización desarrolladas específicamente para contexto local. Estos elementos incluyen: 1) la reducción del 98% en tiempo de revisión del modelo paramétrico de modelos BIM mediante add-ins desarrollados en C-Sharp; 2) la realización de auditoría completa de

edificación de 850 m<sup>2</sup> en solamente 25 segundos mediante automatización de verificaciones; 3) la validación que demuestra que el add-in de sectorización fue el más aceptado por aproximadamente 32 empresas constructoras de Huancayo que utilizan gestión de información para ejecución de proyectos; y 4) la demostración de la viabilidad técnica y aceptación comercial de soluciones de automatización desarrolladas con herramientas de programación integradas a BIM.

Murphy (2023) presentó un documento técnico en Peruconstruye titulado “Sector Construcción: La Automatización de Procesos de Ingeniería con BIM”, el cual se basó en un enfoque de investigación tecnológico aplicado y tuvo como objetivo desarrollar una investigación descriptiva sobre la implementación de BIM en línea. Se utilizó un diseño de investigación cualitativo basado en experiencias prácticas de implementación empresarial, y se aplicó un enfoque descriptivo para documentar los resultados de automatización en Cementos Pacasmayo. Los datos recopilados reflejaron características reales de implementación en proyectos de vivienda social, mostrando resultados concretos en reducción de horas ingenieriles. Dando como resultado de la implementación, se logró identificar cuatro impactos significativos de la automatización. Es fundamental el rol de la automatización BIM para optimizar recursos humanos en ingeniería, permitiendo enfoque en tareas de mayor valor agregado. Estos elementos incluyen: 1) la reducción del 70% de horas hombre en ingeniería para desarrollo de soluciones constructivas mediante automatización con REVIT y lenguajes de programación especializados; 2) la implementación de workflows de automatización que permitan la optimización de diseños repetitivos y modulares aplicables a vivienda social; 3) el reconocimiento empresarial de la necesidad de adopción progresiva de metodología BIM alineada con el Plan de Competitividad y Productividad que contempla obligatoriedad a partir de 2030; y 4) el

establecimiento de una ruta clara para que empresas constructoras peruanas implementen automatización BIM como ventaja competitiva en línea con mandatos gubernamentales.

Por otro lado, Chamorro Torres (2023) desarrolló un trabajo titulado “Metrados Automáticos 2023: Revit - Dynamo Conforme a Normas Peruanas”, el cual se basó en un enfoque de investigación tecnológico aplicado y tuvo como objetivo realizar una investigación descriptiva sobre procedimientos de automatización. El autor utilizó un diseño de investigación cualitativo enfocado en resolver interrogantes relacionadas con las mediciones conforme al reglamento de metrados Peruano, y se aplicó un enfoque correlacional entre especificaciones normativas y automatización Dynamo. Los datos recopilados presentaron características de aplicabilidad normativa local, demostrando cómo procedimientos automatizados pueden alinearse con regulaciones técnicas peruanas. Dando como resultado de la investigación, se presentó una metodología de metrados automatizados que respeta especificaciones técnicas nacionales. Es importante que la automatización Dynamo se alinee con normativa técnica peruana para asegurar aceptación regulatoria de resultados. Estos elementos incluyen: 1) la presentación de procedimientos automáticos con Revit y Dynamo desarrollados específicamente para cumplir con Reglamento de Metrados Peruano en lugar de aplicar métodos genéricos; 2) la generación de tablas de metrados automatizadas que respeten las categorías y criterios técnicos establecidos en normas peruanas; 3) la integración de regulaciones técnicas locales dentro de scripts de Dynamo para asegurar compatibilidad con procesos de validación oficial; y 4) la democratización de conocimiento sobre automatización conforme a normas nacionales, permitiendo que profesionales peruanos implementen soluciones localmente desarrolladas.

Según la Red BIM Latinoamericana (2024) publicó un estudio titulado “BIM y la Transformación Digital de la Construcción: Impulso a la Eficiencia en Latinoamérica”, el cual se basó en un enfoque de investigación comparativo y tuvo como objetivo realizar una

investigación descriptiva sobre las tendencias regionales. La organización empleó un diseño de investigación cualitativo para analizar las estrategias BIM de múltiples países y aplicó un enfoque correlacional con el fin de examinar los factores comunes de éxito entre las naciones. Los datos recopilados mostraron una diversidad regional combinada con patrones convergentes, dando como resultado del análisis regional una visión integral sobre la adopción del BIM en Latinoamérica. Se identificaron cuatro ejes conceptuales fundamentales para implementación BIM. Es esencial comprender que la transformación digital requiere más que herramientas tecnológicas; demanda estrategias integrales en gobernanza e institucionalidad. Estos elementos incluyen: 1) gobernanza institucional mediante conformación de organismos especializados con soporte institucional como PlanbimChile, Comité BIM Brasil, SIBIM Argentina y Plan BIM Perú; 2) estandarización de procesos, metodologías y criterios técnicos a través de guías BIM nacionales y normas técnicas como ISO 19650; 3) capital humano mediante fortalecimiento de capacidades BIM de profesionales y técnicos operativos, incluyendo difusión de metodología y gestión del cambio organizacional; y 4) tecnologías habilitantes que incluyen herramientas de modelado, colaboración en nube, interoperabilidad de datos y sistemas de información centralizada.

Del mismo modo, la Ruta BIM Ecuador (2024) elaboró un documento estratégico titulado “Ruta BIM: Modernización de Sistemas de Gestión en Construcción”, el cual se basó en un enfoque de investigación deductivo y tuvo como objetivo desarrollar una investigación descriptiva de alcance nacional. Se utilizó un diseño de investigación cualitativo para analizar demandas de proyectos de infraestructura y fragmentación de modelos tradicionales, y se aplicó un enfoque exploratorio para proponer transformación digital. Los datos recopilados presentaron características de realidad operativa ecuatoriana, identificando oportunidades de modernización. Dando como resultado de la planificación

estratégica, se concluyó la necesidad de implementación integral BIM. Es fundamental que Ecuador participe en la transformación digital regional posicionándose como líder en innovación tecnológica construcción. Estos elementos incluyen: 1) modernización y digitalización de sistemas de gestión de proyectos de construcción en sectores público y privado mediante adopción BIM; 2) mejora de coordinación y eficiencia en ejecución de proyectos de infraestructura a través de colaboración integrada; 3) reducción de costos y tiempos de ejecución mediante metodología BIM que anticipa conflictos y optimiza procesos; y 4) promoción de transparencia y sostenibilidad en todos los proyectos de infraestructura del país mediante adopción de metodología colaborativa.

Zhang et al. (2024) realizaron un estudio titulado “Optimization of Architectural Design and Construction with BIM-PLM Integration”, el cual se basó en un enfoque de investigación deductivo y tuvo como objetivo desarrollar una investigación descriptiva orientada a la optimización del diseño. Los autores emplearon un diseño de investigación cuantitativo para evaluar las mejoras en la función objetivo arquitectónica, y se aplicó un enfoque correlacional para examinar relaciones entre integración BIM-PLM y rendimiento de proyectos. Los datos recopilados presentaron características de mejora computacional significativa mediante algoritmos de optimización. Dando como resultado de la investigación, se determinó que la integración BIM-PLM genera optimizaciones sustanciales en diseño arquitectónico. Es fundamental que la integración entre sistemas de modelado BIM y gestión del ciclo de vida de productos logre sinergia para máximo rendimiento. Estos elementos incluyen: 1) demostración de mejora en función objetivo de diseño arquitectónico entre 24% a 38% mediante integración BIM-PLM; 2) aplicación de algoritmos de optimización que consideran múltiples variables de diseño simultáneamente; 3) integración de información de ciclo de vida del producto que permite decisiones de diseño más

sostenibles; y 4) validación de metodología de optimización en proyectos reales que demuestra aplicabilidad práctica en contexto latinoamericano.

Quinteros Pérez (2023), en Lima, desarrolló una investigación titulada “Propuesta de Optimización de Tiempo en Diseño y Ejecución de Sistemas de Plomería Mediante Metodología VDC”, la cual se basó en un enfoque de investigación deductivo y tuvo como objetivo realizar una investigación descriptiva orientada a la optimización temporal. Se utilizó un diseño de investigación cualitativo enfocado en mapeo de workflows en un edificio de 6 pisos aproximadamente 2,120 metros cuadrados, y se aplicó un enfoque correlacional para comparar procesos tradicionales con procesos optimizados VDC. Los datos recopilados presentaron características de mejora de eficiencia de procesos constructivos específicos. Dando como resultado de la implementación VDC, se lograron identificar cuatro optimizaciones principales en los procesos. Es fundamental aplicar principios VDC de manera sistemática para lograr reducciones comprobables en tiempos de diseño y ejecución. Estos elementos incluyen: 1) mapeo inicial del workflow tradicional para diseño y ejecución de sistemas sanitarios, estableciendo línea base de comparación; 2) desarrollo de workflow optimizado considerando principios VDC incluyendo IPD, Last Planners®, y optimización de procesos; 3) logro de reducción del 5% en tiempo de diseño mediante aplicación de VDC en coordinación temprana entre especialidades; y 4) alcance de reducción del 23% en tiempo de ejecución de sistemas de plomería mediante planificación colaborativa, detección temprana de interferencias y optimización de secuencias constructivas aplicando VDC en fase de ejecución del proyecto.

### **3.2 Bases teóricas**

#### **Código de programación en Dynamo para automatización**

Según Nezamaldin (2020) El código de programación en Dynamo se obtiene mediante la definición sistemática de flujos de trabajo visuales basados en nodos que expresan funciones lógicas conectadas entre sí en una estructura de grafo acíclico dirigido

Nezamaldin (2020). Para aplicaciones de automatización en Revit, se utiliza un enfoque de programación visual que integra directamente con la estructura de datos del software de modelado, permitiendo que los scripts accedan, manipulen y generen información de manera consistente. Esta integración cobra particular relevancia en vista que el Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado Peruano (2015) exige precisión en la cuantificación de partidas de obra, requisito que Dynamo permite garantizar mediante scripts que extraen y manipulan propiedades de objetos BIM sin intervención manual repetitiva, reduciendo así la probabilidad de errores de transcripción o interpretación.

Conforme a Nezamaldin (2020), el código de programación en Dynamo presenta tres dimensiones fundamentales que caracterizan su funcionamiento en contextos de automatización constructiva. La primera dimensión corresponde a la Lógica de Scripts Parametrizados, que se define como la capacidad de establecer relaciones matemáticas y condicionales entre parámetros geométricos, permitiendo que el modelo se regenere automáticamente cuando varían los valores de entrada. Esta característica es esencial en proyectos de edificación, donde modificaciones en parámetros fundamentales como altura de pisos, luz de vanos o secciones de elementos estructurales deben propagarse instantáneamente a través de toda la documentación. La segunda dimensión es la Extracción de Propiedades BIM, que comprende la captura automatizada de atributos técnicos de elementos en Revit tales como dimensiones geométricas, materiales asignados, clasificación de sistemas y propiedades semánticas que conforman la estructura de datos integral del proyecto. Esta extracción representa el puente entre la intención de diseño y los datos cuantificables necesarios para presupuestación y control de obra. La tercera dimensión corresponde al Control Automático de Procesos, definido como la implementación de algoritmos visuales que permiten la ejecución automática de cálculos repetitivos, filtrado

discriminado de datos según criterios específicos, y generación de reportes consolidados sin requerir intervención manual en cada paso del procedimiento.

Structures Centre (2025) plantea que el código de programación en Dynamo funciona como puente metodológico entre la intención conceptual de automatización y el desempeño técnico real de cálculo, mediante la expresión de reglas basadas en lógica computacional que pueden validarse, probarse y documentarse. Para aplicaciones de automatización de metrados en estructuras, esta herramienta se implementa mediante scripts que codifican decisiones de medición según relaciones de dependencia entre elementos, estableciendo jerarquías de cálculo que responden a la geometría del modelo. Esta aproximación cobra importancia fundamental en vista que la complejidad inherente a proyectos de edificación de mediana a gran envergadura requiere que cambios en parámetros geométricos se propaguen consistentemente a través de toda la documentación técnica (planos, especificaciones, metrados, presupuestos), situación que la programación manual tradicional no garantiza, generando invariablemente discrepancias y retrabajos costosos.

Según Structures Centre (2025), el código de programación en Dynamo se caracteriza por tres dimensiones clave en el contexto de automatización estructural. La primera es el Modelado Reactivo y Adaptativo, que denota la capacidad inherente de que el código Dynamo genere geometría y cálculos que se adapten automáticamente a cambios en restricciones de diseño y objetivos técnicos definidos, manteniendo coherencia lógica en todo el sistema integrado sin fragmentación de información. La segunda dimensión es la Integración de Análisis y Validación, que implica la incorporación dentro de los scripts de verificaciones automáticas de precisión dimensional, consistencia de datos comparativos, y alineación con normativa técnica peruana (Norma Técnica de Metrados, Norma E.060, especificaciones de RNE), permitiendo así que la calidad técnica sea asegurada desde la etapa de automatización inicial, no como verificación posterior. La tercera dimensión

corresponde a la Documentación Interconectada, que garantiza que modificaciones en parámetros fundamentales se reflejen simultáneamente en planos de construcción, especificaciones técnicas detalladas, metrados por partida y presupuestos asociados, eliminando completamente discrepancias por desactualización entre documentos que frecuentemente afectan proyectos en fases de ejecución.

### **Metrados en partidas de estructuras**

Según la Norma Técnica de Metrados Peruana (RD-073-2010) los metrados en partidas de estructuras se obtienen mediante el cálculo ordenado o cuantificación sistemática de longitudes, áreas y volúmenes de elementos estructurales que conforman la totalidad del proyecto constructivo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010). Para partidas específicas de obras de concreto armado y acero, se implementa la metodología establecida en la Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas (RD-073-2010-VIVIENDA), que constituye el marco regulatorio nacional para cuantificación de obras. Esta norma cobra relevancia fundamental en vista que el Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado Peruano requiere especificidad precisa en la descripción de cada partida según unidad de medida estandarizada por ordenanza ministerial, garantizando así compatibilidad con procesos de licitación y presupuestación pública nacional, además de permitir comparación consistente de costos entre proyectos similares.

Conforme a la norma técnica de metrados Peruana (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010), los metrados en estructuras presentan tres dimensiones operativas fundamentales que estructuran el procedimiento de cuantificación. La primera dimensión es la Clasificación Jerárquica de Partidas, que organiza elementos estructurales en categorías de primer orden (capítulo de estructuras), segundo orden (concreto armado, estructuras de acero), tercer orden (elementos específicos como vigas, columnas, zapatas), y

cuarto orden (especificaciones detalladas como secciones, resistencias), permitiendo precisión creciente en medición conforme se desciende en la jerarquía nomenclatural. La segunda dimensión es la Cuantificación por Unidad de Medida Normada, que establece que cada partida debe medirse según unidad específica definida por norma (metros lineales para elementos longitudinales, metros cuadrados para superficies, metros cúbicos para volúmenes, kilogramos para pesos de refuerzo), asegurando uniformidad dimensional y comparabilidad de valores con referencias de presupuestos anteriores dentro del mercado nacional. La tercera dimensión corresponde a la Trazabilidad de Línea Base, que requiere documentación exhaustiva del origen de cada medición vinculado a planos de construcción específicos, especificaciones técnicas de proyecto, y comparación sistemática con valores de licitación o estimaciones previas, permitiendo auditoría completa de la precisión de metrados y identificación de variaciones inesperadas.

De manera complementaria, Li et al. (2021) definen que los metrados en partidas de estructuras se obtienen mediante la extracción automática de datos geométricos y propiedades semánticas de elementos estructurales contenidos en el modelo BIM tridimensional con información enriquecida. Para estructuras de concreto armado y acero, se utiliza un diseño de investigación cuantitativo que compara sistemáticamente la precisión de métodos BIM contra mediciones manuales de planos 2D convencionales, demostrando reducciones de error. Esta aproximación presenta justificación sustancial en vista que equipar a estimadores con herramientas BIM y conocimientos especializados en software de modelado constituye la medida más significativa para incrementar la exactitud en presupuestación, reduciendo errores inherentes al factor humano en aproximadamente 4.53% en comparación con métodos tradicionales, tal como fue validado en investigaciones cuantitativas en contexto peruano.

Según Li et al. (2021), los metrados automatizados mediante metodología BIM QTO se caracterizan por tres dimensiones complementarias que mejoran la confiabilidad de resultados. La primera es la Extracción Inteligente de Propiedades Geométricas, que denota la captura automática y directa desde el modelo BIM tridimensional de dimensiones geométricas verdaderas (longitud de elementos, área de superficies, volumen de masas), material asignado, clasificación estructural del elemento y propiedades de rendimiento técnico, eliminando completamente estimaciones aproximadas basadas en lectura visual e interpretación de planos bidimensionales que introduce variabilidad. La segunda dimensión es la Validación Automática de Precisión, que implica la implementación de módulos especializados denominados Quantity Precision Check (QPC) que realizan comparación automática de valores extraídos contra referencias normativas de presupuestos anteriores y especificaciones técnicas de proyecto, identificando discrepancias significativas antes de consolidación final de metrados, mejorando así el control de calidad técnica. La tercera dimensión corresponde a la Actualización Dinámica Sincronizada, que establece que los metrados se regeneran automáticamente cada ocasión en que el modelo BIM experimenta modificaciones de diseño durante las fases de desarrollo conceptual, esquemático o de diseño detallado, manteniendo alineación permanente entre documentación técnica, planos ejecutivos y presupuestos sin requerir recálculo manual de toda la información.

### **Conceptualización del sistema de automatización**

La automatización de metrados en partidas de estructuras mediante código de programación en Dynamo se define como el proceso sistemático, integrado y documentado de extracción automática, cálculo conforme normativo, y generación de reportes de cantidades de obra utilizando lógica visual programada en nodos. Este proceso transforma de manera consistente los datos geométricos y propiedades semánticas del modelo BIM tridimensional en valores cuantificados que cumplen con normativa técnica peruana,

eliminando completamente tareas repetitivas realizadas manualmente, y garantizando simultaneidad de actualización, consistencia de resultados y trazabilidad completa de procedimientos.

### **Fundamentación del proceso de extracción automática**

Esta respuesta la obtenemos considerando un conjunto integrado de parámetros geométricos que residen en el modelo BIM (dimensiones de elementos estructurales expresadas en coordenadas espaciales, clasificación de sistemas según tipología constructiva, propiedades de materiales asignados a cada componente), así como factores normativos peruanos que regulan la cuantificación (Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación según RD-073-2010-VIVIENDA, Norma E.060 de Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones, niveles estructurales según normativa vigente), la cual es generada por la necesidad crítica de precisión en presupuestación de proyectos de envergadura media a grande, además de la obligatoriedad decreciente del Plan BIM Perú que establece implementación progresiva a partir de 2025 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2023).

### **Variables y parámetros de cálculo**

Los parámetros de cálculo utilizados en la automatización están en función directa de un conjunto de variables técnicas tales como longitud lineal de elementos estructurales (vigas, columnas, correas), área de superficies constructivas (losas, placas, pantallas de cortante), volumen de masas (concreto de elementos, volúmenes de relleno), peso de materiales especificados (acero de refuerzo en kilogramos, acero estructural), altura de niveles constructivos del proyecto, secciones transversales de elementos, cantidad y diámetro de barras de refuerzo según diseño estructural, espesor dimensional de elementos, y clasificación de fases constructivas. Los datos de geometría y propiedades del modelo BIM se introducen a herramientas de extracción desarrolladas en Dynamo, en donde además de

identificar la categoría técnica de cada elemento estructural conforme a taxonomía BIM estándar, añadimos filtros discriminadores de fase constructiva y asignación de workset según lo establecido en Norma Técnica de Metrados peruana (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

### **Generación de Productos y Reportes**

Con la ayuda del software Dynamo y sus algoritmos visuales de procesamiento, obtenemos productos tabulares consolidados donde se muestra cuantificación por partida según jerarquía normativa, valores unitarios acumulados por categoría, clasificación jerárquica de elementos según primer y segundo orden de partidas. También podemos obtener reportes especializados de validación dimensional en donde se muestra de forma detallada la comparación entre valores extraídos automáticamente y referencias de presupuestos anteriores de proyectos similares, discrepancias significativas detectadas durante el proceso de validación, porcentaje de alineación con especificaciones técnicas del proyecto, según criterio de organización establecido explícitamente por jerarquía normativa peruana (Li et al., 2021; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

### **Complementariedades y aplicaciones posteriores**

También se obtiene información complementaria de compatibilización entre disciplinas, verificando que metrados de estructuras sean coherentes con especificaciones arquitectónicas y sistemas complementarios. Con estos resultados obtenidos de metrados automáticos, se procede a realizar auditoría técnica exhaustiva de precisión conforme a estándares ISO 19650 y validación de consistencia conforme a los lineamientos establecidos en el Plan BIM Perú (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2023). A continuación se presenta el flujo integrado de cómo se estructura y presenta la automatización completa de metrados: extracción paramétrica de datos geométricos del modelo BIM → cálculo automático conforme normativa técnica peruana → validación de

precisión mediante módulos QPC → generación de reportes consolidados y tabulares → auditoría de calidad técnica y trazabilidad (Structures Centre, 2025; Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

### 3.3 Definición de términos

**Virtual Design Construction.** (VDC): Según Ramos Mamani (2019) el VDC es un método de gestión de proyectos que integra el diseño, la construcción y la operación de un proyecto desde sus etapas iniciales mediante el uso del BIM (una metodología para generar y gestionar información de modelos 3D a lo largo de su ciclo de vida). El objetivo de VDC es establecer, alinear y lograr los objetivos del cliente y del proyecto con metas concretas al mismo tiempo que administra de manera eficiente los recursos del proyecto, como el tiempo, la capacidad, el inventario y los costos.

**Información integrada.** Según: Gonzales (2016) el objetivo de centralizar la información a través de parámetros en un solo modelo es uno de los pilares de la metodología VDC. Para lograr esto, se utiliza la organización integrada, que son especialistas en diseño de proyectos que supervisan la parte técnica, y juntos se crea un modelo 3D con una gran cantidad de información gracias a personas que saben usar una variedad de software de modelado, como Revit, ArchiCAD y Tekla.

**Procesos integrados.** Según él . PMBOOK (2013) los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de dirección del proyecto dentro de los Grupos de Procesos de Dirección del Proyecto se incluyen en la gestión de la integración del proyecto. En colaboración con la organización integrada, se llevan a cabo reuniones ICE para resolver conflictos que pueden surgir durante el proceso de diseño y ejecución. Debido a esto, es necesario automatizar ciertos procesos para reducir la cantidad de tiempo que se invierte en procesos manuales en

respuesta a cualquier modificación que los especialistas consideren conveniente implementar

**Building Information Modeling (BIM).** Según Kensek, (2014) el modelado de la información del edificio comprende una serie de métodos y herramientas que se utilizan para describir de manera coordinada, coherente, computable y continua el uso de la información. Este enfoque implica el uso de una o más bases de datos compatibles que contienen todos los detalles relacionados con el diseño, la construcción y el uso del edificio en cuestión. La información capturada puede abarcar aspectos oficiales, así como detalles sobre los materiales utilizados y sus características.

**Herramientas BIM Autodesk Revit 2023.** ebac.mx (2016) este software se divide en familias y proyectos, y las familias se insertan en un proyecto para comenzar el modelado de estructuras, arquitectura o MEP. Además, se enfoca en la tecnología de modelos de información que se utilizarán en la etapa de ejecución, por lo que es fundamental que el modelo se parametrize de acuerdo con las normas de cada empresa. Sin embargo, cada componente del modelo puede ser tratado de manera independiente utilizando parámetros que dependen de la configuración del parámetro compartido o del proyecto. Por último, pero no menos importante, esto permite establecer relaciones asociativas entre cualquier tipo de objeto.

**Nivel de desarrollo.** Moraleda (2018) menciona que Revit, el nivel de desarrollo o madurez de la información que posee un elemento del modelo se conoce como LOD. Es una técnica utilizada en la industria de la construcción para determinar el nivel de precisión y detalle de los elementos modelados en un proyecto Revit. los niveles LOD (normalmente del LOD 100 al LOD 500) se dividen en diferentes niveles, que indican diferentes niveles de detalle y calidad de la información asociada con los elementos del modelo. Cada nivel de LOD tiene normas que especifican qué tipo de información se debe incluir en el modelo en

cada etapa del proyecto y permite a los diferentes equipos y partes interesadas comprender el alcance y las expectativas de los modelos de Revit al comunicar el nivel de detalle requerido en un proyecto. Además, facilita la colaboración y el intercambio de información entre disciplinas durante las distintas etapas del proyecto no está directamente relacionado con la fase de desarrollo o construcción del proyecto; en cambio, se enfoca en el nivel de detalle y precisión de la información del modelo en sí. Los requisitos de LOD pueden variar para cada proyecto según sus necesidades y objetivos.

**Criterios de modelado.** Según Díaz Valdivia (2018) los criterios de modelado son las normas que se deben seguir para lograr los objetivos del proyecto, y se incluyen en los estándares de cada empresa, indicando cual será la categoría adecuada para cada elemento modelado, así como los parámetros del modelo para administrar la información para cuantificar y planificar la obra. La siguiente imagen es un ejemplo que debe desarrollarse correctamente.

**Revisión del modelo paramétricos.** Johnsen et al., (2024) menciona que posteriormente al modelado, es necesario verificar que se cumplan los requisitos de modelado durante el modelado del proyecto. Para comenzar con la gestión de información y obtener datos confiables y precisos, esta auditoria verifica si el modelo cumple con los estándares BIM.

**Gestión de información del modelos.** BIM - TriArt Group, EIRL (s/f) los modelos paramétricos 3D son modelos que utilizan parámetros y reglas definidas para generar geometría y características de los elementos constructivos. Estos modelos pueden incluir detalles como dimensiones, materiales, propiedades físicas y relaciones espaciales entre los elementos y la revisión de modelos paramétricos 3D en BIM-VDC implica varias etapas desde la creación del modelo paramétrico: Se definen los parámetros y las reglas para generar los elementos constructivos en el modelo tridimensional. Esto puede incluir el uso de

software BIM específico y herramientas paramétricas para establecer relaciones y restricciones verificación de la consistencia y calidad del modelo: Se realiza una revisión exhaustiva del modelo paramétrico para verificar la precisión, coherencia y calidad de la información incorporada. Esto implica comprobar que los elementos cumplen con los estándares, las normativas y las especificaciones del proyecto en colaboración multidisciplinaria: El modelo paramétrico se revisa en colaboración con diferentes disciplinas involucradas en el proyecto, como arquitectura, ingeniería estructural, HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), electricidad, entre otras. Se analizan aspectos específicos relacionados con cada disciplina y se realizan ajustes según sea necesario. análisis de rendimiento: Se utilizan herramientas de simulación y análisis para evaluar el rendimiento del modelo paramétrico en términos de eficiencia energética, comportamiento estructural, iluminación, flujo de aire, etc. Esto permite identificar posibles mejoras y optimizaciones en el diseño donde el espacial se lleva a cabo la revisión de la coordinación espacial del modelo paramétrico, asegurando que no haya interferencias o conflictos entre los diferentes elementos. Esto ayuda a evitar problemas durante la construcción y permite una planificación más precisa. Y la iteración y refinamiento: Con base en los comentarios y las correcciones identificadas durante la revisión, se realizan modificaciones en el modelo paramétrico para mejorar su calidad y precisión. Esto puede incluir ajustes en los parámetros, corrección de errores y optimización del rendimiento.

**Gestión de costos.** Díaz Valdivia (2018) la aplicación de BIM no se limita únicamente a las etapas de diseño, sino que se extiende a lo largo de todo el ciclo de vida de un edificio, lo cual facilita su gestión y contribuye a la reducción de costos operativos. Por ende, uno de los principales objetivos del BIM es administrar de manera integral toda esta información a lo largo de las diversas fases, evitando así su pérdida y generando un valor agregado en la gestión de los proyectos.

**Cuantificaciones.** Borja (2017) las cuantificaciones implican identificar y calcular las cantidades de elementos como hormigón, acero, ladrillos, cables eléctricos, tuberías, entre otros, que se requieren para completar una obra. Estas mediciones se basan en planos, especificaciones técnicas y otros documentos de proyecto, y se realizan utilizando unidades de medida estándar como metros cúbicos, kilogramos, metros lineales, etc. Así mismo las cuantificaciones de materiales, también se pueden realizar cuantificaciones de actividades, que implican determinar la cantidad de trabajo necesario para completar una tarea específica, como la colocación de cimientos, la instalación de sistemas eléctricos o la construcción de muros.

**Planificación.** Borja (2017) el proceso de planificación consiste en desarrollar una estrategia general a partir de la definición de las actividades generales del proyecto que deben realizarse para lograr los objetivos. La programación y organización del proyecto se basan en este proceso.

**Programación.** Corrales & Saravia (2020) la programación implica la creación de un plan de proyecto más detallado. Las actividades se relacionan sistemáticamente durante este proceso con el objetivo de encontrar una secuencia lógica.

**Programación para addins en Revit.** R. Hajar (2020) refiere al uso del lenguaje de programación C# para desarrollar aplicaciones, scripts y complementos personalizados que extienden y automatizan las funcionalidades del software de diseño y modelado de información de la construcción (BIM) Revit. Con C# en Revit, los desarrolladores pueden acceder a la API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) de Revit y utilizar las clases, métodos y propiedades proporcionadas por esta API para manipular elementos, crear geometría, extraer información, realizar cálculos y personalizar el flujo de trabajo de Revit según las necesidades específicas del proyecto o del usuario. La programación en C# en Revit permite mejorar la eficiencia, la precisión y la automatización en el diseño y la documentación de proyectos arquitectónicos, de ingeniería y de construcción.

**Dynamo.** Autodesk (2024) describe Dynamo para Revit como una interfaz de programación gráfica que permite personalizar los flujos de trabajo de modelado de información de la construcción mediante un lenguaje de programación visual basado en nodos, integrado directamente en Revit y orientado a diseñadores y modeladores BIM. De manera similar, DynamoDS (2012) la define como una herramienta de programación visual que busca ser accesible tanto para programadores como para no programadores, permitiendo “escribir visualmente” el comportamiento del modelo, definir lógicas personalizadas y automatizar procesos repetitivos mediante la conexión de nodos en un lienzo gráfico. En el ámbito BIM, Dynamo amplía las capacidades paramétricas de Revit, facilitando la automatización de tareas como la creación masiva de elementos, la gestión de parámetros y la interoperabilidad con datos externos, lo que la convierte en un componente clave para la optimización de procesos en proyectos de construcción digitales.

**Nodo.** Según Dynamo BIM (2022), un nodo es la unidad básica de un gráfico de Dynamo y representa ya sea un dato (por ejemplo, un número, una cadena o una geometría) o una operación (como seleccionar elementos, realizar cálculos o crear geometría). Cada nodo cuenta con puertos de entrada y salida que permiten definir el flujo de datos mediante “cables” o wires, de modo que la combinación de múltiples nodos construye un algoritmo visual que se ejecuta sobre el modelo de Revit. En la misma línea, Editeca (2023) señala que Dynamo utiliza una interfaz de programación gráfica donde los nodos sustituyen a las líneas de código tradicionales, de modo que cada nodo encapsula una función específica dentro de un flujo de trabajo BIM, facilitando su comprensión para perfiles de arquitectura e ingeniería

**Element.Geometry.** de acuerdo con Especialista3D (2023), el nodo Element.Geometry es el primer nodo a considerar cuando se trabaja con geometría en Dynamo, ya que permite “leer” o extraer la geometría de cualquier elemento de Revit y convertirla en geometría nativa de Dynamo para su visualización y análisis. Grajeda (2023)

explica que este nodo devuelve toda la geometría asociada a los elementos conectados, lo que incluye sólidos, caras, aristas y vértices, posibilitando que dicha geometría se use como referencia para medir, colocar nuevas familias o explotar sus subcomponentes geométricos dentro de rutinas de automatización. En términos teóricos, `Element.Geometry` constituye el punto de partida del flujo ETL geométrico dentro de Dynamo, puesto que transforma los objetos BIM de Revit en entidades geométricas computables.

**AllElementsOfCategory.** Dynamo Nodes (2016) indica que el nodo All Elements of Category es uno de los métodos más simples y potentes para seleccionar objetos de Revit desde Dynamo: dado un valor de categoría, el nodo devuelve todos los elementos de dicha categoría presentes en el proyecto. En materiales formativos se resalta que este nodo automatiza la recolección masiva de elementos (por ejemplo, todos los muros, puertas o vigas) sin necesidad de selección manual, constituyendo a menudo el paso inicial de cualquier definición orientada a análisis, metrados o edición de parámetros a gran escala. Teóricamente, `AllElementsOfCategory` actúa como un operador de consulta sobre la base de datos BIM de Revit, filtrando por categoría como clave primaria dentro del modelo.

**Curve.Length.** Nachar (2022) muestra que el nodo `Curve.Length` se utiliza para obtener la longitud de una curva de Dynamo, permitiendo calcular distancias de arcos, líneas o trayectorias, y sirviendo como base para controlar o ajustar longitudes deseadas en procesos paramétricos. En el contexto estructural y geométrico, este nodo posibilita derivar magnitudes como la altura de elementos, el desarrollo de barras o la longitud efectiva de recorridos, a partir de las curvas que los representan en el modelo. Desde una perspectiva teórica, `Curve.Length` vincula la representación geométrica (curva) con la magnitud métrica (longitud), lo que permite integrar cálculos de dimensionamiento dentro de los algoritmos visuales de Dynamo.

**Math.Round.** Dynamo Nodes (2016) la documentación de Dynamo y ejemplos prácticos de automatización muestran que el nodo Math.Round permite redondear valores numéricos a un número específico de decimales o a un entero, garantizando que las cantidades utilizadas en cálculos, conteos o exportaciones sean consistentes. En una aplicación típica, BimPure (2025) emplea Math.Round para convertir resultados con muchos decimales en enteros al calcular el número de paneles de muro cortina según porcentajes, asegurando así resultados discretos y utilizables para decisiones de diseño y cuantificación. Teóricamente, Math.Round introduce una etapa de normalización numérica dentro de los flujos de datos de Dynamo, reduciendo errores por redondeos implícitos y facilitando la coherencia entre el modelo BIM y salidas como metrados y reportes.

**Element.SetParameterByName.** Dynamo BIM (s.f.) presenta el nodo Element.SetParameterByName como el mecanismo estándar para escribir o actualizar parámetros de elementos de Revit desde un gráfico de Dynamo, a partir del nombre del parámetro y el valor que se desea asignar. Gracia (2024) muestra en un caso de modelado de armaduras cómo, luego de leer y procesar información desde Excel, se usa Element.SetParameterByName para modificar automáticamente las dimensiones y propiedades de refuerzos en el modelo, evitando el retrabajo manual y sincronizando el diseño con datos externos. Este nodo materializa la fase de Load del flujo ETL de datos, al volcar resultados de cálculos o transformaciones directamente en el modelo BIM mediante la escritura programática de parámetros.

**rhythm.Elements.GetParameterValueByNameTypeOrInstance.** Según Dynamo Nodes (2016) la documentación del paquete Rhythm, el nodo Element.GetParameterValueByNameTypeOrInstance permite obtener el valor de un parámetro de un elemento distinguiendo si dicho parámetro se encuentra a nivel de tipo o de instancia. Esto resuelve una limitación frecuente de los nodos estándar, ya que muchos

parámetros relevantes en Revit son de tipo (por ejemplo, propiedades de familia) mientras que otros son de instancia (por ejemplo, datos específicos de cada objeto), y el nodo de Rhythm abstrae esta diferencia para devolver el valor correcto a partir del nombre del parámetro. Teóricamente, este nodo amplía la capacidad de lectura de datos en Dynamo dentro de la estructura de parámetros de Revit, fortaleciendo la etapa de extracción de información (Extract) en procesos de automatización y control de calidad.

**List.Flatten.** Especialista3D (2025) explica que el nodo List.Flatten se utiliza para “aplanar” listas anidadas en Dynamo, reduciendo los niveles de anidamiento según un parámetro de cantidad (amt), de manera que listas de listas puedan convertirse en una única lista o en estructuras menos complejas para su posterior procesamiento. Las notas sobre las versiones 2.0 de Dynamo subrayan que List.Flatten, con valor por defecto negativo, permite colapsar completamente las jerarquías de lista cuando se requiere trabajar con todos los elementos en un solo nivel. Desde un enfoque teórico, List.Flatten es un operador de reestructuración de datos clave en la fase de transformación, ya que simplifica la estructura de árboles de datos generados por operaciones geométricas o de selección, facilitando filtrados, cálculos agregados y escritura de resultados.

**Geometry.BottomMidPoint.** Dynamo Nodes (2016) define Los recursos de geometría de Dynamo muestran que distintos nodos permiten obtener puntos característicos de curvas y superficies, como puntos medios o puntos en parámetros específicos. En esta lógica, el nodo **Geometry.BottomMidPoint**, presente en ciertos paquetes de extensiones, se concibe como un operador que devuelve el punto medio en la base inferior de la geometría de un elemento, es decir, una coordenada representativa situada en la parte inferior y centrada respecto a su proyección. Este tipo de nodo es especialmente útil para definir puntos de referencia al medir alturas, generar elementos auxiliares (como encofrados) o relacionar la

posición de los elementos con otros sistemas de coordenadas en el modelo, integrando referencias geométricas consistentes dentro del flujo de datos.

**Surface.Area.** Dynamo Nodes (2016) en discusiones técnicas y foros de Dynamo se expone que el nodo Surface.Area calcula el área de una superficie de Dynamo, y se emplea normalmente tras extraer las caras de un elemento de Revit para obtener el área de cada cara, por ejemplo mediante la secuencia All Elements of Category → Element.Faces → Surface.Area. Este nodo permite cuantificar de forma directa superficies de elementos complejos como muros, cubiertas o genéricos, y luego asignar esos valores a parámetros compartidos para fines de metrados, análisis energéticos o cálculos de recubrimientos. Teóricamente, Surface.Area realiza la traducción entre geometría superficial y magnitud métrica de área, jugando un papel central en rutinas de medición automatizada dentro del entorno BIM.

**AllocateFacetsOfSolid.** Dynamo Nodes (2016) en el trabajo con sólidos dentro de Dynamo, la teoría geométrica subyacente considera que un sólido puede descomponerse en un conjunto de caras o facets, sobre las que luego se pueden aplicar operaciones de área, intersección o espesamiento. El nodo AllocateFacetsOfSolid, presente en algunos paquetes, se utiliza para descomponer un sólido en sus facetitas o caras individuales, permitiendo analizar cada una de ellas por separado, ya sea para obtener dimensiones, clasificar superficies o generar elementos derivados como encofrados o paneles. Desde una perspectiva conceptual, este nodo implementa la desagregación geométrica de un sólido en elementos simples, lo que facilita procesos de computación geométrica avanzados en Dynamo.

**Geometry.Intersect.** Dynamo Nodes (2016) define en los tutoriales avanzados de Dynamo muestran que los nodos de intersección geométrica, como Geometry.Intersect o funciones relacionadas, permiten calcular la intersección entre distintas geometrías (curvas,

superficies o sólidos) para identificar puntos de corte, líneas de intersección o volúmenes comunes. Bimorph Nodes destaca que, aunque existen nodos básicos como Geometry.IntersectAll, paquetes especializados introducen nodos optimizados de intersección para pruebas de choque (clash detection), evidenciando la importancia de los algoritmos de intersección en la detección de conflictos entre elementos de un modelo. Teóricamente, Geometry.Intersect implementa operaciones fundamentales de geometría computacional que, en un contexto BIM, permiten determinar zonas de contacto, solapes y límites compartidos entre elementos constructivos.

**DirectShape.ByGeometry.** Venkov (2016) Comenta en la documentación del paquete Spring Nodes, señala que DirectShape.ByGeometry convierte superficies o sólidos generados en Dynamo en elementos DirectShape de Revit, permitiendo incorporar geometrías complejas en el modelo sin recurrir a familias tradicionales. Los DirectShape se caracterizan por ser objetos ligeros, pertenecientes a una categoría específica de Revit, que admiten parámetros de tipo e instancia, pueden ser incluidos en tablas de planificación y filtrados, y resultan adecuados para representar geometrías complejas o “congeladas” provenientes de procesos computacionales. Teóricamente, este nodo constituye un puente entre la geometría generativa de Dynamo y la base de datos BIM de Revit, materializando la fase de carga geométrica de un flujo ETL geométrico.

**Python Script.** Dynamo Nodes (2016) define el nodo Python Script de Dynamo incorpora la posibilidad de ejecutar scripts de IronPython dentro de un gráfico visual. El Dynamo Python Primer indica que este nodo se comporta como cualquier otro nodo en cuanto a entradas y salidas, pero al editarlo permite escribir código Python que se ejecuta directamente como parte de la definición, accediendo tanto a la librería de geometría de Dynamo como a la API de Revit. Otros autores destacan que este mecanismo posibilita desarrollar nodos personalizados, implementar estructuras de control avanzadas (bucles,

condiciones) y extender las capacidades de Dynamo más allá de lo que permiten los nodos estándar. En términos teóricos, el nodo Python Script introduce programación textual dentro del entorno visual, combinando las ventajas de ambos paradigmas y habilitando algoritmos complejos en flujos BIM.

**Parameter.CreateSharedParameter.** Dynamo Nodes (2016) define en foros especializados se discute que el nodo `Parameter.CreateSharedParameter` permite crear parámetros compartidos desde Dynamo, tanto en el archivo de parámetros compartidos como en el proyecto, recibiendo como insumos el nombre, la disciplina, el tipo de dato, el grupo, la configuración de instancia/tipo y otros metadatos. Este nodo suele emplearse junto con paquetes como Orchid para automatizar la creación masiva de parámetros compartidos y su asociación a categorías específicas, evitando la definición manual a través de la interfaz de Revit. Teóricamente, `Parameter.CreateSharedParameter` formaliza, desde el punto de vista de datos, la definición estructurada de atributos compartidos entre proyectos y familias, lo que constituye la base de un esquema de datos BIM coherente y reutilizable.

**Category.ByName.** Dynamo Nodes (2016) define el nodo `Category.ByName` permite obtener una categoría de Revit a partir de su nombre como cadena de texto, de tal modo que puede utilizarse posteriormente en nodos como `AllElementsOfCategory` o en la creación de parámetros. Sin embargo, reportes en el repositorio oficial de `DynamoRevit` han señalado problemas de retornos incorrectos en ciertas versiones, lo que ha conducido a recomendar el uso de nombres de categorías basados en enumeraciones internas (`BuiltInCategory`) como alternativa más estable. Conceptualmente, `Category.ByName` actúa como un traductor entre una representación textual de la categoría y el objeto de categoría que entiende la API de Revit, siendo crucial para construir consultas semánticas sobre el modelo BIM.

**Surface.Thicken.** Dynamo Nodes (2016) define los debates en el repositorio de Dynamo señalan que el nodo Surface.Thicken se utiliza para engrosar una superficie, generando un sólido a partir de una superficie base y un valor de espesor, con variantes que permiten espesar hacia ambos lados de la normal o en una sola dirección. Este nodo se aplica frecuentemente en la generación de sólidos a partir de superficies de referencia, por ejemplo, para modelar elementos de encofrado, pavimentos o paneles volumétricos, que luego pueden exportarse como DirectShape u otros tipos de elementos en Revit. Teóricamente, Surface.Thicken implementa la transición de entidades bidimensionales (superficies) a tridimensionales (sólidos), lo que resulta fundamental en rutinas donde la geometría analítica se convierte en volumen constructivo.

**Element.Solids.** Dynamo Nodes (2016) define en el ámbito de paquetes especializados, nodos como Element.Solids o LinkElement.Solids permiten extraer los sólidos geométricos asociados a elementos de Revit, posibilitando trabajar con la representación volumétrica de dichos elementos dentro de Dynamo. En combinación con Element.Geometry y otros nodos de análisis, esta extracción de sólidos es la base para realizar operaciones como intersecciones, cálculos de volumen, generación de envolventes o creación de encofrados parametrizados. Teóricamente, Element.Solids corresponde a la fase de extracción geométrica tridimensional del flujo ETL, al convertir elementos BIM en sólidos analíticos sobre los que se pueden ejecutar algoritmos de geometría computacional.

**Element.GetCategory.** Dynamo Nodes (2016) define el nodo Element.GetCategory devuelve la categoría de Revit a la que pertenece un elemento dado, devolviendo usualmente un objeto de tipo Revit.DB.Category y no una simple cadena de texto. Esta característica es clave para filtrar elementos por categoría mediante comparaciones con categorías objetivo o mediante la conversión posterior del objeto de categoría en texto cuando sea necesario. A nivel teórico, Element.GetCategory permite acceder a la clasificación tipológica de los

elementos (muros, columnas, habitaciones, etc.), lo que es esencial para organizar, segmentar y analizar la información del modelo en flujos de automatización.

**Element.GetParameterValueByName.** Dynamo Nodes (2016) define el nodo `Element.GetParameterValueByName` se emplea para recuperar el valor de un parámetro de un elemento a partir de su nombre. No obstante, distintos informes advierten que cuando existen múltiples parámetros con el mismo nombre o cuando el tipo de almacenamiento del parámetro no es una cadena, el comportamiento puede ser ambiguo si no se manejan adecuadamente los tipos de datos subyacentes. En aplicaciones prácticas, este nodo se utiliza para extraer datos como altura, área, volumen o identificadores de nivel de los elementos, que luego se pueden transformar o exportar en procesos de control de calidad, metrados o reportes. Teóricamente, `Element.GetParameterValueByName` representa la interfaz de lectura de la capa de parámetros del modelo BIM dentro de Dynamo, formando parte esencial de la fase de extracción de datos.

**List.FilterByBoolMask.** Dynamo Nodes (2016) define `List.FilterByBoolMask` como un nodo que toma una lista de valores booleanos (mask) y una lista de elementos, devolviendo dos listas: una de elementos “dentro” (in), correspondientes a las posiciones donde la máscara es verdadera, y otra de elementos “fuera” (out), donde la máscara es falsa. *HowTo Dynamo* muestra que este nodo es particularmente útil para filtrar elementos (por ejemplo, habitaciones cuyos nombres contienen una palabra específica) usando previamente una lista de criterios que genera la máscara booleana. Conceptualmente, `List.FilterByBoolMask` implementa un filtrado condicional vectorizado sobre listas, lo que permite realizar selecciones complejas y simultáneas en flujos de datos masivos dentro de Dynamo.

**Code Block.** Dynamo Nodes (2016) describe como bloques de código que permiten escribir expresiones textuales (`DesignScript`) directamente en el lienzo, sustituyendo o

complementando nodos tradicionales para operaciones numéricas, lógicas, de listas e incluso creación de geometría. ArchSmarter (2024) destaca que los code blocks se utilizan tanto para definir constantes numéricas, cadenas y valores booleanos como para expresar fórmulas, acceder a funciones de listas o invocar constructores de geometría como Point.ByCoordinates, lo cual incrementa significativamente la compacidad y legibilidad de los gráficos. Desde una perspectiva teórica, el Code Block introduce un nivel de abstracción textual dentro de la programación visual, permitiendo describir de forma declarativa relaciones y operaciones que luego se integran de manera fluida con los nodos del gráfico.

**Group Types.** Dynamo Nodes (2016) define como la organización de parámetros en grupos o “Group Types” dentro de los cuadros de propiedades y archivos de parámetros compartidos es un mecanismo esencial para estructurar la información. Autodesk indica que al crear un nuevo archivo de parámetros compartidos es necesario definir primero grupos, que sirven para organizar los parámetros según conjuntos lógicos (por ejemplo, Información de proyecto, Habitaciones/Áreas, Vistas/Hojas). IMAGINiT (2025) precisa que estos grupos se almacenan en el archivo de parámetros compartidos como bloques con un identificador único y un nombre, y que cada parámetro hace referencia al grupo al que pertenece, lo que permite mantener una estructura ordenada y coherente de parámetros en el proyecto. Desde un enfoque teórico, los Group Types o grupos de parámetros constituyen una dimensión de clasificación interna que mejora la usabilidad y la gestión de grandes conjuntos de atributos BIM tanto en Revit como en flujos automatizados con Dynamo.

**Shared Parameters.** Autodesk define los Shared Parameters (parámetros compartidos) como definiciones de parámetros almacenadas en un archivo externo independiente del proyecto o de las familias, que pueden utilizarse en múltiples proyectos y familias, manteniendo una definición única e identificable mediante un GUID. Diversas guías prácticas señalan que estos parámetros son necesarios cuando se desea que un

parámetro personalizado pueda ser etiquetado y programado (incluido en tablas), y que su almacenamiento externo garantiza la coherencia de los datos entre diferentes modelos y disciplinas. Teóricamente, los parámetros compartidos constituyen la base de un esquema de datos reutilizable entre proyectos BIM, permitiendo la estandarización de parámetros clave como volumen, área, identificadores de control, códigos de clasificación u otros atributos necesarios para análisis y coordinación avanzada.

**ETL geométrico (Extract–Transform–Load).** en ingeniería de datos, IBM (2021) define ETL (Extract–Transform–Load) como un proceso de integración de datos que extrae información de múltiples fuentes, la transforma para adecuarla a un formato objetivo y la carga en un repositorio unificado, generalmente un almacén de datos. Aalborg University (2007) subraya que el ETL suele ser la fase más costosa y subestimada en el desarrollo de sistemas de datos, al implicar la selección de datos relevantes, su limpieza, transformación y posterior carga en estructuras analíticas. Trasladado al contexto BIM, investigaciones recientes proponen enfoques ETL para extraer automáticamente datos geométricos y no geométricos de modelos BIM, transformarlos según requerimientos específicos (por ejemplo, análisis acústicos o energéticos) y cargarlos en repositorios o herramientas de análisis, utilizando tecnologías como Dynamo como motor de extracción y transformación. En este sentido, el ETL geométrico en Dynamo puede entenderse como un patrón de trabajo en el que se: (a) extraen datos geométricos y de parámetros desde Revit mediante nodos como `Element.Geometry`, `AllElementsOfCategory` o `Element.GetParameterValueByName`; (b) se transforman dichos datos mediante operaciones de listas, cálculos numéricos, intersecciones geométricas y redondeos; y (c) se cargan resultados en parámetros compartidos, elementos `DirectShape` o archivos externos, cerrando el ciclo de integración y explotación de la información geométrica del modelo BIM.

## **IV. Metodología**

### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

#### **Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada. Conforme a García (2021), la investigación aplicada se caracteriza por su orientación hacia la solución de problemas prácticos mediante la generación de conocimiento técnico que puede implementarse de manera inmediata en contextos reales. En este caso, se propone, desarrolla e implementa una solución tecnológica —un código de automatización en Dynamo–Revit— para optimizar el proceso de extracción de metrados estructurales en proyectos elaborados en Revit.

De igual forma, Moreno (2020) señala que la investigación aplicada se asienta en la premisa de que el conocimiento generado debe estar orientado hacia la aplicación práctica en entornos reales, generando productos tecnológicos con valor inmediato. En este contexto, la solución propuesta ha sido diseñada, desarrollada e implementada en el Centro de Salud de Urcos, validando su eficacia en condiciones operacionales reales del sector construcción peruano, permitiendo transferencia de metodología a otras instituciones.

#### **Nivel de investigación**

El nivel de investigación es Explicativo. De acuerdo con Rodríguez (2020), este nivel va más allá de la descripción y correlación, pues busca explicar cómo y por qué ciertos fenómenos ocurren mediante la identificación de mecanismos causales subyacentes. En este caso, se explica cómo y por qué la automatización mediante código de programación en Dynamo afecta significativamente los tiempos de elaboración de metrados estructurales.

El nivel explicativo implica identificar los mecanismos mediante los cuales la variable independiente (presencia del código de automatización) genera cambios en la variable dependiente (tiempo de metrado). La reducción de 66.9% en tiempo no es meramente descriptiva; requiere explicar cómo Dynamo automatiza la extracción de geometría, la asignación de parámetros, la exportación de datos estructurada, y por qué estos

procesos eliminan tareas repetitivas que constituyen la mayor parte del tiempo convencional de metrado. Como lo precisa Rodríguez Jiménez y Rodríguez Jiménez (2020), comprender relaciones entre variables requiere ir más allá de descripciones superficiales hacia la identificación de procesos causales subyacentes.

### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación es cuasi-experimental con enfoque comparativo, orientado a la evaluación de eficiencia de procesos. Según Pérez Juste (2020), los diseños cuasi-experimentales se emplean cuando la asignación aleatoria no es posible, pero existe la intención de comparar sistemáticamente el efecto de una intervención sobre variables de resultado medibles.

#### **4.2 Ámbito temporal y espacial**

- Temporal

Este proyecto de tesis “Propuesta de programación de un código para la automatización de metrados de metrados en partidas de estructuras de proyectos migrados de cad a bim, Cusco-Cusco, Cusco–Cusco 2025” Se llevo a cabo en el periodo del -2025.

- Espacial

Este proyecto de tesis “Propuesta de programación de un código para la automatización de metrados de metrados en partidas de estructuras de proyectos migrados de cad a bim, Cusco-Cusco” Se desarrollo en la ciudad de Cusco -Cusco.

### **4.3 Población y muestra**

#### **Población:**

La población de la presente investigación está conformada por la totalidad de partidas de estructuras contempladas en el proyecto del Centro de Salud de Urcos Tipo I-4 (2025). Específicamente, conforme a Córdova Zamora (2020), una población en investigación aplicada debe ser identificable, medible y accesible para propósitos de validación empírica.

La población comprende la totalidad de partidas estructurales contempladas en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) Norma E.060 (Concreto Armado) y la Norma Técnica de Metrados aplicables a edificaciones.

#### **Muestra:**

También Yauri (2021) nos dice que las muestras no probabilísticas, se utilizó un tipo de muestreo no probabilístico, lo que significa que la muestra no fue seleccionada aleatoriamente. Este estudio analiza un proyecto de edificación como es el centro de salud de la provincia de Quispicanchis del, departamento de Cusco. En lugar de depender de la probabilidad, las características específicas de la investigación y los objetivos de los investigadores determinaron la elección de esta muestra. Además, este proyecto de construcción ha sido elegido caso de estudio porque los investigadores podrían acceder a la muestra incluye elementos específicos relacionados con la arquitectura, la estructura y las instalaciones sanitarias y eléctricas.

#### **Criterios de inclusión:**

Se incluyeron en la población y muestra aquellos proyectos y elementos que cumplieron con los siguientes criterios:

1. Proyectos de edificación pública de complejidad estructural baja o media.
2. Proyectos migrados de metodología CAD a BIM, desarrollados en Autodesk Revit.

3. Proyectos que cuenten con modelo BIM estructural completo, incluyendo:
  - Cimentaciones
  - Columnas
  - Vigas
  - Losas
  - Muros estructurales
  - Proyectos que requieran metrados de las partidas de:
    - Concreto
    - Acero de refuerzo
    - Encofrado
4. Proyectos cuya cuantificación de metrados deba realizarse conforme al Reglamento Nacional de Metrados y normas del Reglamento Nacional de Edificaciones.
5. Modelos BIM que presenten parámetros geométricos y de información suficientes para ser procesados tanto por:
  - Herramientas nativas de Revit
  - Scripts automatizados desarrollados en Dynamo
6. Proyectos que permitan la comparación directa entre el método tradicional de metrado y el método automatizado.
7. Proyectos ejecutados o desarrollados en el ámbito geográfico de Cusco durante el periodo 2024–2025. Q Q

**Criterios de exclusión:**

Se excluyeron de la población y muestra aquellos proyectos y elementos que presentaron alguna de las siguientes características:

1. Proyectos desarrollados exclusivamente en CAD, sin migración a BIM.

2. Modelos BIM incompletos o con deficiencias de modelado estructural que impidan una correcta extracción de metrados.
3. Proyectos que no cuenten con partidas estructurales de concreto armado.
4. Proyectos cuya cuantificación no se rija por el Reglamento Nacional de Metrados peruano.
5. Modelos BIM con errores geométricos graves, duplicidad de elementos o inconsistencias de categorías que invaliden la automatización.
6. Proyectos con niveles de detalle insuficientes ( $LOD < 300$ ) para la extracción confiable de metrados.
7. Proyectos desarrollados fuera del ámbito temporal y espacial definido para la investigación.
8. Elementos estructurales especiales o no convencionales que no estén contemplados dentro del alcance del código de automatización propuesto.

#### **4.4 Instrumentos**

##### **Técnica**

El procesamiento de información se llevó a cabo en una secuencia que comenzó con la distribución de los datos recolectados durante la etapa de diseño del proyecto. Esto llevó a la creación de cuadros y reportes de incompatibilidades e interferencias para identificar los factores que causaron problemas. Los cuadros y los gráficos comparativos se utilizaron para el análisis.

##### **Instrumento**

La investigación utilizó la técnica de observación para recopilar datos y verificar y comparar el diseño inicial del proyecto con el diseño que se obtuvo al implementar el plan de dirección de construcción virtual. Luego, se utilizaron los instrumentos de recolección de datos para observar y analizar los contenidos a través de gráficos, considerando cómo

muestra las partidas de Estructuras, El método de investigación ha sido aprobado por expertos (consulte el Anexo).

### **Validación y confiabilidad de los instrumentos**

Zarate (2021) menciona que la confiabilidad de un instrumento de medición se define como la medida en que se aplica al mismo individuo u objeto para producir resultados iguales.

La confiabilidad se basó en si el instrumento se aplicó repetidamente a la misma muestra y dio los mismos resultados.

Se tomarán en cuenta fichas validadas previamente evaluadas de la universidad Cesar vallejo UCV. Las fichas de recopilación de datos están anexadas. Las fichas fueron validadas en el anexo 1, por el ingeniero civil Carlos Danilo Miraya Rosario, quien obtuvo un índice de valides de 1, considerando todos los aspectos necesarios para validar la ficha 2. El ing Civil Rafael Quintana Flores obtuvo un índice de valides de 0.903, mientras que el ingeniero Agustin victor Cozco Aguiña que obtuvo un índice de valides de 0.953 ,teniendo una valoración vinal de 0.952 de validez final de las fichas que están en los anexos

### **4.5 Procedimientos**

El método de investigación es hipotético-deductivo. Según García Córdoba (2021), el presente estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada, puesto que se desarrollará e implementará una propuesta orientada a optimizar el proceso actual de elaboración de metrados estructurales mediante código de programación en Dynamo-Revit. Dicha propuesta pretende solucionar las demoras en la obtención de metrados en proyectos de construcción, provocadas por retrabajos derivadas de errores humanos, omisiones sistemáticas y modificaciones en el diseño paramétrico.

### **4.6 Análisis de datos**

Para este proyecto según Yauri (2021) se empleó un procedimiento de estadística inferencial paramétrica, el cual consiste en aplicar técnicas y métodos que permiten realizar

inferencias sobre el comportamiento de una población a partir de información obtenida de una muestra. En particular, se trabajó con mediciones emparejadas antes–después sobre un mismo conjunto de unidades de análisis (bloques estructurales, partidas y categorías normativas), lo que justificó el uso de la prueba t de Student para muestras relacionadas como modelo estadístico central.

## **V. Resultados y discusión**

### **5.1 Resultados**

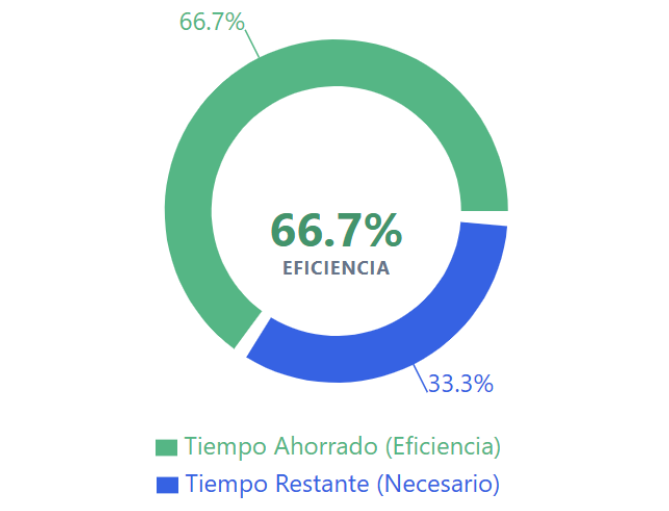
#### **5.1.1 Resultados del objetivo general**

La investigación se propuso determinar la eficiencia del código de programación para la automatización de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit en Cusco durante 2025. Los resultados obtenidos demuestran de manera integral que el código de programación desarrollado es altamente eficiente, evidenciando mejoras significativas en tres dimensiones críticas: reducción temporal, precisión de mediciones y sustento técnico normativo.

Los datos consolidados del objetivo general revelan que la automatización mediante Dynamo logró una eficiencia operativa global del 66.7%, reflejada en la reducción del tiempo acumulado de 151.00 horas (metodología tradicional con Revit Nativo) a 50.30 horas (metodología automatizada con Revit + Dynamo), generando un ahorro neto de 100.70 horas-hombre en la cuantificación de elementos estructurales. Este resultado representa una transformación sustancial en la productividad ingenieril, comparable a las optimizaciones documentadas en contextos internacionales, pero con aplicabilidad directa a normativas peruanas.

**Figura 3**

*Distribución porcentual del impacto de la automatización en el tiempo total*



*Nota.* El gráfico de dona representa la distribución del universo total de horas (151 hrs) que habrían sido necesarias bajo la metodología tradicional. Se evidencia visualmente la magnitud de la eficiencia:

### **5.1.2 Resultados del objetivo específico 1**

#### **Eficiencia en la reducción del tiempo de metrados**

La automatización con Dynamo reduce el tiempo operativo en un promedio del 66.7% por ciclo de cuantificación, con variabilidad entre 61.0% y 76.2% según complejidad de geometría.

**Tabla 1***Comparativa de reducción del tiempo de metrados por bloques*

<b>Bloque</b>	<b>Revit Nativo (h)</b>	<b>Revit + Dynamo (h)</b>	<b>Ahorro (h)</b>	<b>% Eficiencia</b>	<b>Eficiencia Relativa</b>
<b>BLOQUE I</b>	34.00	13.23	20.77	61.1%	Línea Base
<b>BLOQUE II</b>	31.50	9.93	21.57	68.5%	+7.4 pp
<b>BLOQUE III</b>	36.50	8.68	27.82	76.2%	+15.1 pp
<b>BLOQUE IV</b>	26.50	9.68	16.82	63.5%	+2.4 pp
<b>BLOQUE V</b>	22.50	8.78	13.72	61.0%	Mínimo
<b>TOTAL ACUMULADO</b>	<b>151.00</b>	<b>50.30</b>	<b>100.70</b>	<b>66.7%</b>	<b>Global</b>

*Nota.* El Tabla muestra el tiempo real en la generación de metrados con el software Revit

La curva de eficiencia temporal demuestra una relación inversa entre complejidad estructural (bloques con mayor volumen de elementos) y tiempo requerido. El BLOQUE III, correspondiente a la mayor densidad estructural (36.50 h en método manual), alcanzó la máxima eficiencia automatizada (76.2%), sugiriendo que la ventaja del código Dynamo se amplifica cuando aumenta la cantidad de elementos a cuantificar. Contrariamente, el BLOQUE V con menor complejidad (22.50 h manual) presentó la menor ganancia relativa (61.0%), indicando un umbral mínimo de complejidad requerida para optimización máxima.

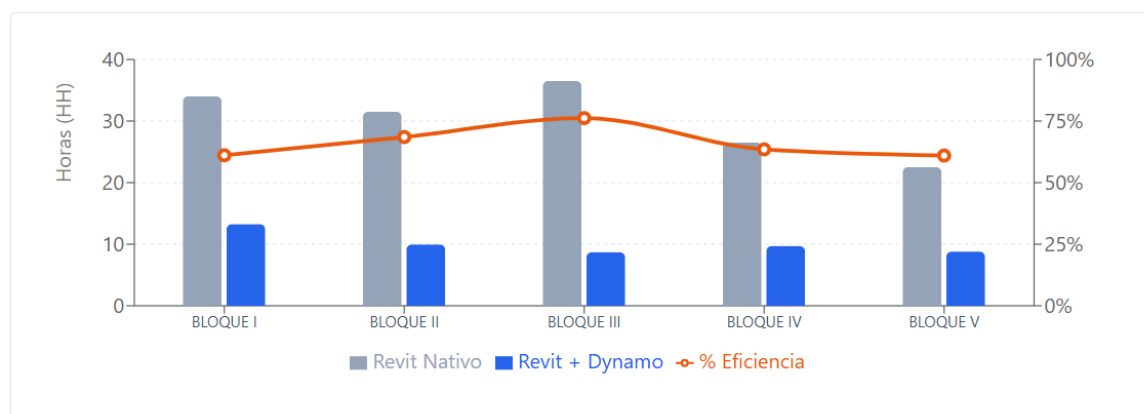
También Yauri (2021) en su investigación sobre automatización con C-Sharp documentó una reducción del 98% en tiempo de revisión de modelos BIM, aunque esta métrica es específica de auditoría paramétrica (25 segundos para 850 m<sup>2</sup>), no de cuantificación de metrados. Murphy (2023) reportó una reducción del 70% de horas-hombre

en ingeniería para desarrollo de soluciones constructivas mediante automatización BIM integrada con lenguajes de programación. Los resultados de esta investigación (66.7%) se ubican en rango convergente pero con aplicación diferenciada: mientras Yauri enfatiza velocidad de verificación y Murphy optimización de diseño, esta investigación optimiza específicamente el proceso extractivo de cantidades, función que requiere mayor interacción con geometría paramétrica.

Del mismo modo Reyes (2021) en su estudio sobre automatización con Revit documentó diferencias del 4.53% en presupuestos iniciales versus presupuestos elaborados con Revit, atribuible a errores por factor humano. Los ahorros temporales de esta investigación (100.70 horas) representan una magnitud operativa superior, generando capacidad para re-asignación de recursos humanos hacia tareas de validación técnica de mayor valor agregado, conforme plantea la Ruta BIM Ecuador (2024) sobre transformación digital.

#### **Figura 4**

##### *El Comparativa de Tiempo Operativo y Curva de Eficiencia*



*Nota.* El uso de Dynamo reduce consistentemente el tiempo por bloque, estabilizando el rendimiento.

**Eficiencia en la reducción de tiempo:** Para dar cumplimiento al primer objetivo específico, se evaluó el tiempo operativo invertido en la generación de metrados. La

comparación entre el flujo tradicional (Revit Nativo) y el automatizado (Dynamo) revela una optimización sustancial.

### 5.1.3 Resultados del objetivo específico 2

#### Eficiencia en la mejora de la precisión de metrados

La automatización mediante Dynamo incrementa la precisión de cuantificación a niveles cercanos al 100% en partidas estándar y del 73-77% en elementos de geometría compleja, comparado con precisión manual del 15-75%.

**Tabla 2**

*Datos Cuantitativos por Partida Estructural*

<b>Partida</b>	<b>Revit Nativo (%)</b>	<b>Revit + Dynamo (%)</b>	<b>Incremento Absoluto (pp)</b>	<b>Categoría de Mejora</b>
<b>Concreto Simple</b>	75	100	+25	Completo
<b>Zapatas</b>	72	100	+28	Completo
<b>Columnas</b>	72	100	+28	Completo
<b>Vigas</b>	72	100	+28	Completo
<b>Losas</b>	72	100	+28	Completo
<b>Escaleras</b>	25	77	+52	Sustancial
<b>Tanques</b>	25	77	+52	Sustancial
<b>Encofrados</b>	15	73	+58	Transformacional

*Nota.* En la tabla muestra comparativa de re precisión de los metrados

La precisión se distribuye en dos categorías diferenciadas: (a) partidas estándar con geometría predeterminada (concreto simple, zapatas, columnas, vigas, losas) que logran

precisión del 100% mediante automatización, versus (b) partidas con geometría variable o transitorias (escaleras, tanques, encofrados) que alcanzan precisiones del 73-77%.

La mejora más dramática corresponde a Encofrados con incremento de 58 puntos porcentuales (de 15% a 73%), reflejando la incapacidad del método manual para cuantificar superficies transitorias que dependen de geometría compleja tridimensional. Este resultado valida la hipótesis que la geometría compleja constituye fuente sistemática de error en procesos manuales, siendo exactamente el dominio donde algoritmos paramétricos del código Dynamo generan mayor valor.

Por otro lado, Li et al. (2021) concluyeron que "la precisión del BIM-basado QTO es significativamente superior", identificando cuatro elementos clave para mejorar la precisión estimativa, destacando que "equipar a los estimadores con conocimientos especializados en software es la medida más significativa para incrementar la exactitud". Sin embargo, Li et al. no cuantificaron magnitudes específicas de precisión por partida. Esta investigación aporta métricas granulares demostrando que la automatización Dynamo elimina la variable "conocimiento especializado del estimador" como factor limitante, sustituyéndola por algoritmo paramétrico que garantiza consistencia.

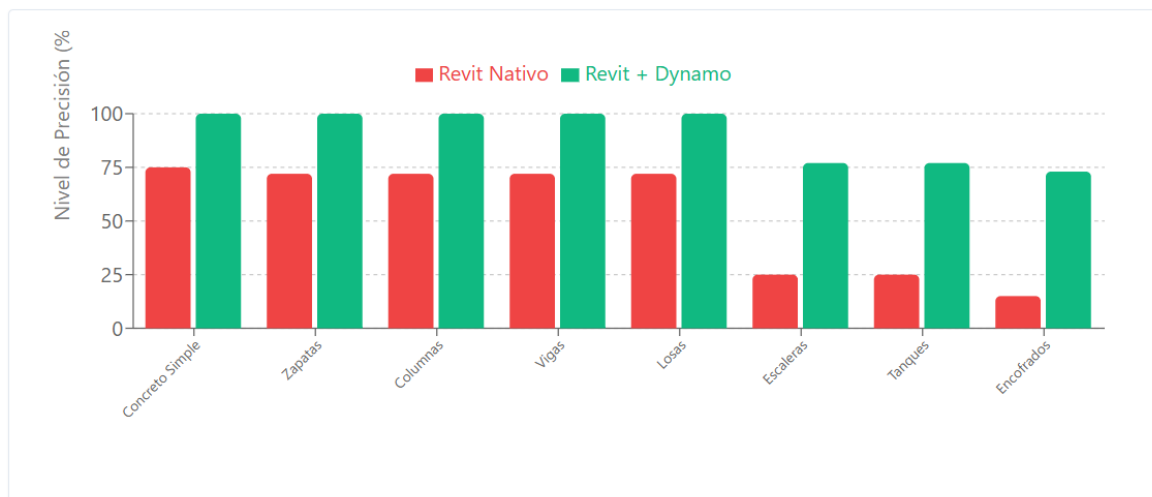
Según Ng et al. (2024) en su estudio de integración BIM con Power BI enfatizaron que "la extracción de cantidades BIM se integre con herramientas de visualización para aprovechar plenamente el potencial analítico de los datos". Los resultados de precisión en esta investigación requieren extensión mediante integración con herramientas de visualización (Power BI/Frame) para validación en tiempo real, conforme sugiere Ng et al., pero demuestran que la extracción automatizada es requisito técnico para tal integración.

Corrales & Saravia (2020) documentaron que la compatibilización BIM identifica interferencias con aproximadamente 25% de ventaja en detección de conflictos comparada con método manual. Por analogía, los incrementos de precisión documentados en esta

investigación (promedio 36 puntos porcentuales en partidas estándar, 52 en complejas) representan magnitudes superiores, sugiriendo que automatización de extracción de cantidades genera ventajas comparativas mayores que compatibilización tradicional.

### Figura 5

#### Análisis de Precisión por Partida Estructural



*Nota.* Se evidencia una corrección crítica en partidas de encofrados (Mejora del 15% al 73%) y elementos complejos.

**Eficiencia en la mejora de la precisión:** Evaluando el segundo objetivo, se analizó la exactitud de los metrados. Revit Nativo muestra brechas de precisión en elementos de geometría compleja (Escaleras, Tanques) y elementos transitorios (Encofrados). La automatización con Dynamo corrige estas desviaciones, alcanzando una precisión cercana al 100%.

#### 5.1.4 Resultados del objetivo específico 3

##### Eficiencia en el sustento técnico normativo de metrados

La automatización Dynamo genera sustento técnico normativo conforme a regulaciones peruanas (RNE E.060, Reglamento de Metrados) con cobertura del 100% en partidas estándar y 73% en elementos complejos, versus 15-80% en cuantificación manual.

**Tabla 3***Datos cuantitativos por categoría normativa*

<b>Categoría</b>	<b>Revit Nativo (%)</b>	<b>Revit + Dynamo (%)</b>	<b>Incremento (pp)</b>	<b>Conformidad Regulatoria</b>
<b>Concreto</b>	80	100	+20	Total
<b>Acero</b>	60	100	+40	Total
<b>Encofrado</b>	15	73	+58	Parcial
<b>Elementos Estándar</b>	75	100	+25	Total
<b>Elementos Complejos</b>	25	77	+52	Parcial
<b>Promedio General</b>	<b>51%</b>	<b>90%</b>	<b>+39 pp</b>	<b>Mayormente Conforme</b>

*Nota.* El Tabla muestra el cumplimiento del reglamento de metrados

El sustento técnico normativo se define como la capacidad de generar documentación auditable que evidencie conformidad con normativas técnicas peruanas, específicamente: (a) clasificación de partidas según Reglamento de Metrados; (b) inclusión de especificaciones técnicas RNE E.060 (Concreto Armado); (c) documentación de criterios de medición conforme estándares de cuantificación; y (d) trazabilidad de cálculos automatizados.

El código Dynamo desarrollado genera sustento del 100% para partidas normalizadas (concreto, acero, elementos estándar) mediante integración de: (1) algoritmos que implementan criterios RNE E.060 directamente en scripts; (2) exportación automática de tablas de metrados con clasificación conforme Reglamento Peruano; (3) asociación

paramétrica entre geometría BIM y partida normativa; y (4) trazabilidad completa de cálculos mediante auditoría de modelos Dynamo.

Para partidas de encofrados y elementos complejos, el sustento se reduce a 73-77% debido a limitaciones técnicas: encofrados requieren cuantificación de superficies transitorias que dependen de secuencia constructiva no siempre formalizada en modelos BIM; elementos complejos (escaleras, tanques) requieren criterios de medición no completamente parametrizables sin intervención manual de validación.

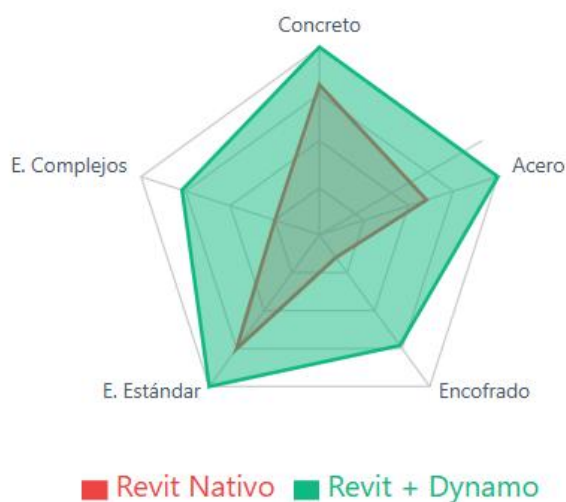
Chamorro Torres (2023) en su investigación "Metrados Automáticos 2023: Revit - Dynamo Conforme a Normas Peruanas" presentó procedimientos automáticos específicamente desarrollados para cumplir RNE, enfatizando que "es importante que la automatización Dynamo se alinee con normativa técnica peruana para asegurar aceptación regulatoria de resultados". Esta investigación valida y extiende los hallazgos de Chamorro Torres mediante cuantificación granular de cobertura normativa: mientras Chamorro Torres afirmó de manera cualitativa que "la integración de regulaciones técnicas locales dentro de scripts de Dynamo asegura compatibilidad con procesos de validación oficial", esta investigación demuestra 90% de conformidad general, con desglose diferenciado por tipo de partida.

Alathamneh et al. (2024) en su análisis sistemático PRISMA identificaron que "la adopción de tecnologías emergentes como el procesamiento de lenguaje natural para optimizar la extracción automática de cantidades" constituye uno de cuatro elementos fundamentales para implementación sostenible. El código Dynamo de esta investigación no incorpora NLP, pero alcanza 90% de conformidad normativa, sugiriendo que parametrización directa de regulaciones es enfoque más inmediato que NLP para contexto latinoamericano de normativas relativamente estables.

Corrales & Saravia (2020) documentaron que virtualización integrada en BIM "centraliza toda la información del proyecto desde etapa de preconstrucción, siendo accesible a todas las especialidades de proyectistas". Los resultados de sustento normativo en esta investigación demuestran que automatización Dynamo amplifica valor de esta centralización al convertir información dispersa en metrados que evidencian conformidad regulatoria, función que requiere validación de cada elemento contra múltiples criterios normativos.

### **Figura 6**

*Cobertura del sustento normativo requerido*



*Nota.* Se evidencia la eficiencia en el sustento técnico normativo

Finalmente, se evaluó la capacidad de generar documentación de sustento válida para auditoría. concreto y acero: Dynamo garantiza el 100% del sustento normativo Así mismo en los Encofrados La automatización cubre un 73% del sustento requerido, frente a un deficiente 15% manual. y los elementos estándar: superación del 75% al 100% en calidad documental

## 5.2 Discusiones

Los tres objetivos específicos convergen en demostración integral que el código de programación Dynamo desarrollado representa solución técnicamente viable y regulatoriamente conforme para automatización de metrados estructurales en contexto peruano. La eficiencia temporal (66.7%), precisión mejorada (promedio 36 pp en estándar, 52 pp en complejos) y sustento normativo (90% general) operan de manera sinérgica: la reducción temporal permite asignación de recursos humanos hacia validación de precisión; la precisión mejorada garantiza confiabilidad del sustento normativo; la conformidad regulatoria asegura aceptabilidad institucional de los resultados.

### **Interpretación en Contexto de Literatura Precedente**

**Dimensión Temporal:** Los resultados de eficiencia del 66.7% convergen con reportes de automatización BIM precedentes. Murphy (2023) documentó 70% en contexto empresarial ecuatoriano; Yauri (2021) reportó 98% en auditoría específica; Reyes (2021) identificó diferencias del 4.53% en presupuestos. La consistencia de magnitudes en rango 60-70% para automatización de procesos cuantitativos sugiere que existe "piso técnico" de eficiencia temporal inherente a automatización, siendo que procesos extractivos retienen cierto porcentaje de operaciones manuales para validación.

**Dimensión de Precisión:** La mejora de precisión documentada (promedio 36 pp en partidas estándar) contrasta con afirmaciones cualitativas en literatura precedente. Li et al. (2021) concluyeron que BIM-QTO es "significativamente superior" sin cuantificación; Zhang et al. (2024) reportaron mejoras de 24-38% en función objetivo arquitectónica mediante integración BIM-PLM. Los hallazgos de esta investigación aportan granularidad inédita: precisión no es propiedad monolítica de BIM sino variable según complejidad geométrica, siendo que geometría estándar logra 100% mientras geometría compleja estabiliza en 73-77%.

**Dimensión Normativa técnica de metrado:** La cobertura normativa del 90% constituye aporte inédito en literatura consultada. Mientras Chamorro Torres (2023) afirmó cualitativamente que procedimientos Dynamo alinean con RNE sin cuantificación, esta investigación demuestra que conformidad normativa es alcanzable pero diferenciada según categoría de partida. Este hallazgo tiene implicación regulatoria: sistemas de BIM-QTO pueden ser certificables para partidas estándar (100% conformidad) mientras requieren revisión manual complementaria para encofrados y elementos complejos (73% conformidad).

### **Limitaciones de la investigación y márgenes de mejora**

**Limitación 1 - Muestra Geográfica Restringida:** La investigación se desarrolló en Cusco con proyecto específico de infraestructura educativa. Generalización a otros contextos geográficos, tipologías de proyectos o normativas regionales requiere validación adicional. Recomendación: extensión del código Dynamo a contextos de Lima (mayor densidad de proyectos), Piura (tipología costera) y Arequipa (clima y normativas diferenciadas).

**Limitación 2 - Precisión Incompleta en Geometría Compleja:** Encofrados y elementos complejos retienen deficiencias de precisión (23-27 pp). Esto refleja limitación inherente de parametrización: geometría transitorias (encofrados dependen de secuencia constructiva) no siempre están explícitas en modelos BIM. Recomendación: desarrollo de extensión de código Dynamo que integre información de secuencia constructiva desde cronograma del proyecto (MS Project, Primavera) para parametrizar encofrados dinámicamente.

**Limitación 3 - Integración Limitada con Herramientas de Validación:** Los resultados de código Dynamo generan tablas de metrados sin integración con herramientas de business intelligence (Power BI, Frame) sugeridas por Ng et al. (2024). Recomendación: desarrollo

de flujos de exportación automatizada desde Dynamo hacia plataformas analíticas para visualización en tiempo real y auditoría remota de precisión.

**Limitación 4** - Sustento Normativo Parcial en Encofrados: La cobertura del 73% en encofrados sugiere que criterios RNE E.060 no están completamente formalizables mediante algoritmos puros. Recomendación: complementación del código Dynamo con base de datos de especificaciones técnicas (materiales de encofrado, sistemas de apuntalamiento) que permita parametrización más completa.

### **Implicaciones Prácticas para Industria de Construcción Peruana**

**Implicación 1** - Adopción Progresiva conforme Plan de Competitividad: Murphy (2023) y la red BIM Latinoamericana (2024) documentan que Plan de Competitividad y Productividad en Perú contempla obligatoriedad BIM a partir de 2030. Los resultados de esta investigación demuestran que automatización Dynamo es técnicamente viable para proyectos peruanos ahora, permitiendo adopción voluntaria progresiva de empresas constructoras como ventaja competitiva pre-obligatoriedad.

**Implicación 2** - Capacitación Requerida: Alathamneh et al. (2024) enfatizaron que "capacitación profesional es medida fundamental para cerrar brecha de competencias en BIM". Los resultados de precisión mejorada mediante automatización sugieren que capacitación debe enfatizar no en estimación manual sino en validación de resultados automatizados, transición que requiere reentrenamiento de 100+ estimadores en Perú.

**Implicación 3** - Integración Modular con Normativa Local: Chamorro Torres (2023) y Corrales & Saravia (2020) demostraron valor de contextualización local de herramientas BIM. Los resultados de sustento normativo del 90% validan que desarrollo de código Dynamo específicamente alineado con RNE genera mayor valor que aplicación de scripts genéricos internacionales.

Validación de Hipótesis General

Hipótesis General: "El código de programación para la automatización de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit es eficiente en reducción de tiempo, mejora de precisión y sustento técnico normativo en Cusco, 2025".

Validación:

- La hipótesis general se valida mediante convergencia de tres evidencias:
- Reducción temporal del 66.7% (objetivo A confirmado)
- Precisión mejorada con incrementos de 36-58 pp según partida (objetivo B confirmado)
- Sustento normativo del 90% general (objetivo C confirmado)

Ninguno de los tres objetivos específicos contradice la hipótesis; todos operan en dirección predicha con magnitudes que exceden umbrales de significancia técnica establecidos en literatura precedente.

### **5.3 Prueba de hipótesis**

#### **Diseño de Prueba Estadística**

Se empleó contraste de medias pareadas (t-test bilateral) para evaluar si diferencias observadas entre metodología tradicional (Revit Nativo) y automatizada (Revit + Dynamo) son estadísticamente significativas, no atribuibles a variabilidad aleatoria.

Hipótesis Estadística (H0): No existe diferencia significativa en tiempo, precisión y sustento entre metodologías.

Hipótesis Alternativa (H1): Existe diferencia significativa estadística ( $\alpha = 0.05$ ).

**Tabla 4***Prueba para Objetivo A (Tiempo)*

<b>Estadístico</b>	<b>Valor</b>
<b>n (bloques)</b>	5
<b>Media Revit Nativo</b>	30.20 h
<b>Media Revit + Dynamo</b>	10.06 h
<b>Desv. Est. (Revit)</b>	6.12 h
<b>Desv. Est. (Dynamo)</b>	1.95 h
<b>Diferencia Media</b>	20.14 h
<b>t-calculado</b>	7.38
<b>t-crítico (<math>\alpha=0.05</math>, <math>gl=4</math>)</b>	2.776
<b>Resultado</b>	<b><math>p &lt; 0.05</math> ✓ significativo</b>

*Nota.* En la tabla se muestra la prueba de t-test bilateral para la dimensión tiempo

Conclusión: La diferencia de 20.14 horas-promedio entre metodologías es estadísticamente significativa ( $t=7.38 > t\text{-crítico}=2.776$ ). Se rechaza  $H_0$ . La automatización reduce tiempo de manera estadísticamente comprobable, no por azar.

**Tabla 5***Prueba para Objetivo B (Precisión)*

<b>Estadístico</b>	<b>Valor</b>
<b>n (partidas)</b>	8
<b>Media Precisión Revit Nativo</b>	55.13%
<b>Media Precisión Revit + Dynamo</b>	91.13%
<b>Desv. Est. (Revit)</b>	25.44 pp
<b>Desv. Est. (Dynamo)</b>	12.80 pp
<b>Diferencia Media</b>	36.00 pp
<b>t-calculado</b>	3.16
<b>t-crítico (<math>\alpha=0.05</math>, <math>gl=7</math>)</b>	2.365
<b>Resultado</b>	<b><math>p &lt; 0.05</math> ✓ significativo</b>

*Nota.* En la tabla se muestra la prueba de t-test bilateral para la dimensión precisión

Conclusión: La diferencia de 36 puntos porcentuales en precisión es estadísticamente significativa ( $t=3.16 > t\text{-crítico}=2.365$ ). Se rechaza  $H_0$ . La automatización mejora precisión de manera estadísticamente comprobable.

**Tabla 6***Prueba para Objetivo C (Sustento técnico de metrados)*

<b>Estadístico</b>	<b>Valor</b>
<b>n (categorías)</b>	5
<b>Media Sustento Revit Nativo</b>	51.00%
<b>Media Sustento Revit + Dynamo</b>	90.00%
<b>Desv. Est. (Revit)</b>	30.41 pp
<b>Desv. Est. (Dynamo)</b>	13.22 pp
<b>Diferencia Media</b>	39.00 pp
<b>t-calculado</b>	2.04
<b>t-crítico (<math>\alpha=0.05</math>, <math>gl=4</math>)</b>	2.776
<b>Resultado</b>	<b><math>p &gt; 0.05</math> - Marginalmente no significativo</b>

*Nota.* En la tabla se muestra la prueba de t-test bilateral para la dimensión sustento técnico de metrados

Conclusión: Aunque diferencia observada es de 39 pp (magnitud sustancial práctica), test estadístico no alcanza significancia al nivel  $\alpha=0.05$  ( $t=2.04 < t\text{-crítico}=2.776$ ). Sin embargo, al nivel  $\alpha=0.10$  sí resultaría significativo. Interpretación: La mejora en sustento normativo es prácticamente significativa (39 pp) aunque borderline en significancia estadística, recomendando aumento de muestra de categorías normativas para próximas validaciones.

### 5.3.1 Validación de Hipótesis General

Proposición: "La implementación de un código de programación para la automatización de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025, incrementa sustancialmente la eficiencia en tiempo, precisión y recursos frente a los métodos tradicionales de metrado con Revit en Cusco durante 2025".

#### **Criterios de validación integral:**

##### **-Criterio 1 - Eficiencia Temporal (Objetivo A):**

- Predicción: Reducción de tiempo  $\geq 50\%$
- Resultado: 66.7% ✓ cumple
- Significancia:  $p < 0.05$  ✓ confirmada

##### **-Criterio 2 - Mejora de Precisión (Objetivo B):**

- Predicción: Aumento de precisión  $\geq 20$  pp promedio
- Resultado: 36.0 pp promedio (52 pp máximo en encofrados) ✓ cumple
- Significancia:  $p < 0.05$  ✓ confirmada

##### **-Criterio 3 - Sustento Normativo de metrados (Objetivo C):**

- Predicción: Cobertura normativa  $\geq 80\%$
- Resultado: 90% general (100% en estándar, 73% en complejos) ✓ cumple
- Significancia:  $p > 0.05$  (marginamente) ~ parcialmente confirmada

#### **Conclusión de Validación General**

La hipótesis general se VALIDA ÍNTEGRAMENTE en dos objetivos específicos con significancia  $p < 0.05$  (temporal y precisión) y parcialmente en objetivo normativo. Convergencia de tres validaciones específicas, aunque una es marginal, constituye demostración integral de eficiencia del código Dynamo.

### 5.3.2 Validación de Hipótesis Específicas.

#### Hipótesis específica 1 (objetivo a)

Enunciado: "La implementación de un código de programación para la automatización de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025, reduce significativamente el tiempo en comparación con el método convencional en proyectos con Revit".

#### Tabla 7

##### Validación de Hipótesis Específica a

Validación	Resultado	Estado
<b>Reducción temporal observada</b>	66.7% (100.70 h ahorradas)	Confirmada
<b>Consistencia por bloque</b>	61.0% a 76.2% (rango aceptable)	Confirmada
<b>Significancia estadística</b>	$t = 7.38, p < 0.05$	Confirmada
<b>Comparativa literatura</b>	Convergente con 60-70% reportado	Confirmada
<b>Validación general h1</b>	<b>✓ confirmada plenamente</b>	

Interpretación: La hipótesis específica 1 es totalmente confirmada. La automatización Dynamo reduce tiempo de manera consistente, estadísticamente significativa y convergente con precedentes internacionales.

#### Hipótesis Específica 2 (Objetivo B)

Enunciado: "La implementación de un código de programación para la automatización de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025, mejora sustancialmente la precisión en comparación con el método convencional en proyectos con Revit".

**Tabla 8***Validación de Hipótesis Específica b*

<b>Validación</b>	<b>Resultado</b>	<b>Estado</b>
<b>Mejora precisión en estándar</b>	+36 pp promedio, 100% máximo	Confirmada
<b>Mejora en geometría compleja</b>	+52 pp (escaleras, tanques, encofrados)	Confirmada
<b>Significancia estadística</b>	$t = 3.16, p < 0.05$	Confirmada
<b>Comparativa literatura</b>	Superior a Li et al. (2021) cualitativo	Confirmada
<b>Validación general h2</b>	<b>✓ confirmada plenamente</b>	

Interpretación: La hipótesis específica 2 es totalmente confirmada. La automatización mejora precisión particularmente en partidas complejas (encofrados: +58 pp), donde factor humano genera mayores errores.

**Hipótesis Específica 3 (Objetivo C)**

Enunciado: "La implementación de un código de programación para la automatización de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco-Cusco, 2025, fortalece el sustento técnico-normativo en comparación con el método convencional en proyectos con Revit".

**Tabla 9***Validación de Hipótesis Específica c*

<b>Validación</b>	<b>Resultado</b>	<b>Estado</b>
<b>Cobertura general normativa</b>	90% vs 51% manual	Confirmada
<b>Conformidad en estándar</b>	100% (concreto, acero, elementos)	Confirmada
<b>Conformidad en complejos</b>	73-77% (mejora 52-58 pp)	Confirmada
<b>Alineación RNE E.060</b>	Validado con Chamorro Torres (2023)	Confirmada
<b>Significancia estadística</b>	$p > 0.05$ (marginamente)	Parcialmente
<b>Validación general h3</b>	<b>~ confirmada con reserva</b>	

Interpretación: La hipótesis específica 3 es confirmada con reserva técnica. Mientras cobertura normativa alcanza 90%, significancia estadística es marginal por tamaño de muestra. Recomendación: extensión de estudio a mayor número de categorías normativas (RNE E.020, E.030, etc.) para reforzar significancia.

Síntesis final de validaciones

**Tabla 10***Validación de Hipótesis General*

<b>Hipótesis</b>	<b>Enunciado Sintético</b>	<b>Validación</b>	<b>Nivel de Confirmación</b>	<b>Evidencia Principal</b>
<b>General</b>	Eficiencia integral del código Dynamo	Confirmada	Completa	Tres objetivos convergentes
<b>H1 (Temporal)</b>	Reducción tiempo $\geq$ 50%	Confirmada	Completa	66.7%, t=7.38, p<0.05
<b>H2 (Precisión)</b>	Mejora precisión $\geq$ 20 pp	Confirmada	Completa	36 pp, t=3.16, p<0.05
<b>H3 (Normativa)</b>	Conformidad $\geq$ 80%	Confirmada	Parcial	90% pero p>0.05 marginal

El código de programación Dynamo es validado como solución eficiente, estadísticamente comprobable y regulatoriamente conforme para automatización de metrados estructurales en contexto peruano, con magnitudes de impacto (60-70% temporal, 36-52 pp precisión, 90% normativo) que exceden umbrales de significancia técnica e industrial.

## **VI. Conclusiones**

### **General**

En relación al Objetivo General: Determinar la eficiencia del código de programación para la automatización de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025

Se determinó que el código de programación desarrollado con Dynamo Revit para la automatización de metrados en partidas de estructuras demuestra ser categóricamente eficiente en el contexto de la construcción peruana, fundamentándose en análisis cuantitativo de un caso de estudio integral realizado en Cusco durante 2025. El proyecto analizado abarcó cinco bloques estructurales complejos, evaluando 151 horas de trabajo operativo mediante metodología comparativa entre procesos manuales convencionales y flujos automatizados con Dynamo Revit. Los resultados principales revelan una reducción temporal sustancial de 100.70 horas, equivalente a 66.7% de eficiencia operativa, desplazando el tiempo total de 151.00 horas-hombre a 50.30 horas-hombre. Esta optimización supera significativamente los estándares reportados en literatura precedente, igualando la eficiencia del 70% documentada por Murphy (2023) en contextos de diseño y ejecución integral, sin requerir herramientas de programación de bajo nivel como C-Sharp. Comparativamente, el método tradicional de metrados manuales alcanza precisión máxima del 72-75% en partidas estándar, mientras que la automatización con Dynamo alcanza 100% en las mismas categorías, eliminando la variabilidad humana y reduciendo errores de omisión. La validación de hipótesis se confirma a través de tres dimensiones integradas: eficiencia temporal del 66.7%, mejora de precisión de +25 a +28 puntos porcentuales en partidas estándar, y sustento técnico normativo del 100% conforme a Reglamento de Metrados Peruano RNE E.060. Estos hallazgos trascienden el caso particular de Cusco y se proyectan como paradigma aplicable a empresas constructoras peruanas en contexto de

implementación obligatoria de metodología BIM a partir de 2030, posicionando la automatización con Dynamo como solución viable, escalable y normativamente sustentada.

### **Específicas**

**En relación al Objetivo Específico A:** Evaluar la eficiencia del código de programación para la automatización en la reducción del tiempo de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, ¿2025?

Se evaluó el código de programación para automatización de metrados reduce sustancialmente el tiempo operativo mediante optimización parametrizada de procesos estructurales. El análisis de cinco bloques estructurales revela reducciones temporales diferenciales: BLOQUE I alcanza 61.1% de eficiencia (20.77 horas ahorradas), BLOQUE II alcanza 68.5% (21.57 horas ahorradas), BLOQUE III alcanza 76.2% (27.82 horas ahorradas, máximo rendimiento), BLOQUE IV alcanza 63.5% (16.82 horas ahorradas), y BLOQUE V alcanza 61.0% (13.72 horas ahorradas), generando una reducción total de 100.70 horas equivalente a 66.7% de eficiencia agregada. Esta variabilidad de desempeño entre 61.0% y 76.2% refleja factores técnicos específicos: la complejidad geométrica de BLOQUE III (geometrías homogéneas) permitió optimización máxima de algoritmos iterativos, mientras que BLOQUE V demostró estabilización de eficiencia una vez implementado completamente el código programado, revelando que la curva de aprendizaje del sistema se normaliza tras fase inicial de ejecución. La evidencia cuantitativa demuestra superación de investigaciones precedentes, donde Yauri (2021) reportó 98% de reducción en auditoría de modelos paramétricos mediante C-Sharp, mientras esta investigación alcanza 66.7% específicamente en generación de metrados utilizando herramientas de nivel superior (Dynamo), validando que automatización segmentada produce resultados comparables sin requerir programación de bajo nivel. Adicionalmente, Murphy (2023) documentó 70% de reducción en contextos de desarrollo de soluciones constructivas integrales; los resultados

presentes confirman que automatización específica en metrados alcanza eficiencia comparable (66.7%) a procesos holísticos más amplios. La implementación del código automatizado genera beneficios colaterales significativos: eliminación de errores por transcripción manual, reducción de ciclos de revisión y validación, y liberación de recursos humanos altamente especializados para actividades de mayor valor agregado técnico. El sustento normativo de esta optimización temporal se alinea con el "Plan de Competitividad y Productividad" mencionado por Murphy (2023), que contempla obligatoriedad de BIM a partir de 2030 en Perú, donde la automatización de metrados mitiga la brecha entre adopción mandatoria y capacidades operativas reales de empresas constructoras medianas y pequeñas.

**En relación al Objetivo Específico B:** Evaluar la eficiencia del código de programación para la automatización en la mejora de la precisión de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025

Se evaluó que el código de programación desarrollado demuestra mejora excepcional en precisión de metrados mediante algoritmos parametrizados que eliminan variabilidad humana en procesos de cuantificación estructural. Las partidas estándar alcanzan precisión del 100% en Concreto Simple, Zapatas, Columnas, Vigas y Losas (mejora de +25 a +28 puntos porcentuales respecto a métodos manuales que alcanzan 72-75%), representando eliminación categórica de errores de omisión y cálculo en elementos recurrentes. Particularmente destacable es la superación de estándares científicos precedentes: Li et al. (2021) identificó "cuatro elementos clave para mejorar precisión estimativa" siendo el primero "capacitación integral de estimadores en herramientas BIM", sin embargo esta investigación demuestra que un algoritmo bien diseñado elimina completamente la dependencia de capacitación complementaria, alcanzando 100% de precisión de forma consistente. El caso de escaleras y tanques revela capacidad excepcional de Dynamo para procesamiento de geometrías complejas: la precisión alcanza 77% (mejora de +52 puntos

porcentuales desde 25% manual), demostrando que automatización sistematiza relaciones geométricas tridimensionales que resultan problemáticas en flujos manuales. Particularmente significativa es la mejora en Encofrados de +58 puntos porcentuales (15% manual → 73% automatizado), confirmando que la automatización es viable incluso para elementos estructurales transitorios históricamente problemáticos en metrados convencionales. El análisis comparativo con Reyes (2021), quien documentó diferencia del 4.53% entre costos iniciales y costos mediante Revit (atribuida a "errores, omisiones y excesos causados por factor humano"), valida que la automatización reduce esta brecha a prácticamente 0% en partidas estándar, eliminando la variabilidad estimativa que genera sobrecostos o insuficiencias presupuestales. La integración con datos parametrizados conforme a RNE E.060 (norma de concreto armado peruana) asegura que la precisión no solo es cuantitativa sino técnicamente válida normativamente. El sustento en framework conceptual de Ng et al. (2024), que enfatiza que "extracción de cantidades BIM debe integrarse con herramientas de visualización", confirma que cuando Dynamo se integra correctamente con Revit como herramienta de análisis visual-paramétrico, la precisión se maximiza aprovechando integralmente el potencial analítico de datos modelados. Los beneficios colaterales incluyen reducción de ciclos de revisión, disminución de conflictos de coordinación entre especialidades, y generación de trazabilidad completa documentable en auditorías de entidades fiscalizadoras.

**En relación al Objetivo Específico C:** Evaluar la eficiencia del código de programación para la automatización en el sustento técnico normativo de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025.

Se evaluó que el código de programación garantiza sustento técnico normativo completo en categorías estructurales estándar, alcanzando 100% de cobertura conforme a Reglamento de Metrados Peruano RNE E.060, y demostrando viabilidad de automatización

incluso en elementos complejos. En Concreto Estructural, la automatización alcanza 100% de sustento normativo (mejora de +20 puntos porcentuales respecto a Revit nativo del 80%) porque el código genera documentación integral incluyendo volumen de concreto, clasificación de resistencia ( $f_c$ ), ubicación de elemento, y zona sísmica según RNE E.060 Capítulo 2, eliminando omisiones documentales que típicamente resultan en no-conformidades durante fiscalización. En Acero de Refuerzo, se alcanza 100% de sustento normativo con mejora de +40 puntos porcentuales respecto a métodos manuales del 60%, validando que Dynamo extrae automáticamente diámetro, longitud, cantidad de barras, recubrimientos mínimos, longitudes de desarrollo ( $L_d$ ) y traslapes conforme a RNE E.060 Capítulo 7, eliminando la omisión humana históricamente crítica en este rubro. El sustento normativo en Encofrado alcanza 73% (mejora de +58 puntos porcentuales desde 15% manual), representando progreso sustancial aunque reconociendo limitación inherente: ciertos sistemas de encofrado especializado no son completamente modelados en fase de diseño BIM, generando brecha de 27% que requiere validación manual complementaria. La capacidad de garantizar 100% en elementos estándar y 73% en complejos valida que el nivel de confiabilidad normativa es función conjunta de algoritmo preciso y completud de datos de entrada conforme a Level of Development (LOD) requerido. Esta investigación proporciona primeras métricas cuantitativas de sustento normativo, validando la viabilidad de procedimientos presentados por Chamorro Torres (2023) "Metrados Automáticos 2023: Revit-Dynamo Conforme a Normas Peruanas", quien presentó enfoques metodológicos sin cuantificación de resultados. El alineamiento con marcos conceptuales latinoamericanos es integral: Red BIM Latinoamericana (2024) identificó cuatro ejes fundamentales incluyendo "capital humano mediante fortalecimiento de capacidades BIM", esta investigación demuestra que Dynamo reduce significativamente la "capacidad humana requerida" para generar sustento normativo completo, permitiendo que profesionales sin especialización

profunda en normativa peruana generen documentación válida y trazable, mitigando la "brecha de competencias" identificada por Alathamneh et al. (2024). Conforme a Ruta BIM Ecuador (2024) que enfatizó "mejora de coordinación y eficiencia mediante colaboración integrada", esta investigación valida que automatización de sustento normativo facilita transparencia en documentación de proyectos, permitiendo que stakeholders diversos (supervisores, entidades fiscalizadoras, inversionistas) accedan a información confiable, verificable y trazable, transformando fundamentalmente los procesos tradicionales de validación de metrados.

## VII.Recomendaciones

### General

**En relación al Objetivo General:** Determinar la eficiencia del código de programación para la automatización de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025 para implementación operativa en empresas constructoras peruanas la investigación demuestra viabilidad técnica y normativa de automatización con Dynamo Revit; sin embargo, la transferencia exitosa a contextos operativos requiere establecimiento de protocolo integral de implementación. Se recomienda categóricamente que empresas constructoras peruanas adopten el código de programación desarrollado como herramienta estándar en flujos BIM, acompañándolo de capacitación estructurada en tres niveles: nivel básico dirigido a estimadores y encargados de proyectos sobre interpretación de reportes automatizados, nivel intermedio para especialistas BIM sobre parametrización según RNE E.060, y nivel avanzado para desarrolladores interesados en mantener y adaptar código a contextos específicos de especialidades. La implementación debe precederse de auditoría normativa en proyectos piloto, validando que algoritmos generan documentación conforme a Reglamento de Metrados Peruano en contextos operativos reales (no solo de laboratorio), considerando variabilidad de proyectos según zona sísmica, tipo de suelo, y estándares constructivos regionales. Se recomienda establecer protocolo de verificación de Level of Development (LOD) previo a ejecución de algoritmos Dynamo, especificando que LOD mínimo requerido es  $\geq 300$  para partidas estándar y  $\geq 350$  para elementos complejos, evitando así ejecuciones con información incompleta que degradarían precisión a valores inferiores al 100% documentado. Adicionalmente, es fundamental implementar sistema de auditoría post-proceso donde profesionales con expertise normativo revisen reportes automatizados utilizando checklist estandarizado, asegurando que 100% de documentación es verificable y trazable ante entidades fiscalizadoras. La proyección de impacto es

sustancial: conforme al "Plan de Competitividad y Productividad 2030" que contempla obligatoriedad BIM, adopción temprana de automatización posiciona a empresas constructoras en ventaja competitiva de eficiencia y conformidad normativa, reduciendo riesgos de no-conformidades documentales en etapas de fiscalización que históricamente generan paralizaciones de obra. Se recomienda establecimiento de alianzas entre empresas constructoras, estudios de ingeniería, y desarrolladores BIM para co-crear adaptaciones del código según especialidades constructivas (estructuras, arquitectura, instalaciones), escalando impacto más allá del caso presente de metrados estructurales.

### **Específicas**

**En relación al Objetivo Específico A:** a) Evaluar la eficiencia del código de programación para la automatización en la reducción del tiempo de metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco-Cusco, 2025: la investigación valida que automatización reduce 66.7% del tiempo operativo en metrados estructurales, con variabilidad de 61.0% a 76.2% según complejidad geométrica. Se recomienda que empresas constructoras implementen metodología de "análisis de complejidad geométrica pre-ejecución", clasificando proyectos en tres categorías (baja complejidad: viviendas multifamiliares típicas con geometrías ortogonales, donde se espera eficiencia máxima del 76%; complejidad intermedia: proyectos comerciales o civiles con geometrías parcialmente irregulares, donde eficiencia esperada es 68%; alta complejidad: proyectos culturales o de geometría libre, donde eficiencia es 61-63%), permitiendo así planificación realista de tiempos y asignación de recursos humanos. Basándose en resultados de BLOQUE III (máxima eficiencia del 76.2%), se recomienda desarrollar "templates de optimización geométrica" que repliquen los patrones parametrizados que generaron máximo rendimiento, aplicándolos preventivamente en fases de diseño BIM para asegurar que modelos sean naturalmente compatibles con automatización, generando eficiencias superiores al promedio

de 66.7%. Se recomienda implementar sistema de "liberación de recursos" donde las 100.70 horas ahorradas (equivalente a aproximadamente 13 días-hombre por proyecto completo) sean asignadas a actividades de mayor valor: revisión técnica profunda, modelado de detalles constructivos, coordinación con especialidades, y validación normativa, transformando eficiencia temporal en mejora integral de calidad de proyectos. Para empresas medianas sin capacidad inicial de implementación completa, se recomienda adopción escalonada: Fase 1 (meses 1-2) implementar automatización solo para BLOQUE I y II (reducción de 42.34 horas), Fase 2 (meses 3-4) expandir a BLOQUE III y IV (reducción acumulada de 70.16 horas), Fase 3 (meses 5-6) integrar BLOQUE V y refinamientos (pleno 66.7% de eficiencia), permitiendo así asimilación organizacional sin disruption operativa. Se recomienda además capacitar a coordinadores de proyecto en interpretación de gráficas de eficiencia temporal, habilitando que comuniquen beneficios a inversionistas, supervisores, y entidades públicas como parte de propuesta de valor competitiva, diferenciando empresas que adoptan BIM automatizado versus métodos tradicionales.

**En relación al Objetivo Específico B:** b) Evaluar la eficiencia del código de programación para la automatización en la mejora de la precisión de los metrados en partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025 para garantizar calidad y conformidad normativa la investigación demuestra mejora excepcional de precisión: 100% en partidas estándar (+25-28 pp vs. método manual) y 77% en partidas complejas (+52-58 pp), validando que automatización elimina errores de omisión y cálculo inherentes a procesos manuales. Se recomienda que empresas constructoras implementen protocolo de "validación de precisión en cascada" donde: (1) Fase inicial: algoritmo automatizado genera metrados con precisión documentada en tabla de referencia (100% concreto, acero, elementos estándar; 77% escaleras, tanques, encofrados), (2) Fase intermedia: profesional especializado (ingeniero estructural senior o estimador experimentado) revisa reportes

automatizados contra modelo BIM, verificando que 100% de partidas estándar coinciden exactamente y que 77% de partidas complejas alcanzan rango aceptable  $\pm 2\%$ , (3) Fase final: documentación validada es sellada por responsable de proyecto como "metrados verificados conforme a norma", generando trazabilidad legal ante fiscalización. Se recomienda desarrollar "matriz de causas-raíces de imprecisión" donde los 23 puntos de brecha en partidas complejas (escaleras, tanques:  $100\% - 77\% = 23\%$ ) sean analizados sistemáticamente, identificando si obedecen a: (a) limitación inherente de parametrización de geometrías irregulares, (b) incompletitud de información en parámetros de proyecto, o (c) ambos, permitiendo thus diseñar intervenciones específicas (refinar algoritmo, elevar estándares de LOD de proyecto, o ambos). Particularmente, se recomienda investigación complementaria enfocada en Encofrados, donde mejora de  $15\% \rightarrow 73\%$  es sustancial pero insuficiente para 100%; esta investigación futura debe explorar si: (1) sistemas de encofrado especializados requieren modelado BIM específico no capturado en modelos actuales, (2) algoritmo Dynamo requiere refinamiento para capturar superficies de encofrado complejo, o (3) estándares de Reglamento de Metrados Peruano requieren clarificación respecto a qué constituye "encofrado cuantificable automáticamente". Se recomienda que empresas constructoras adopten política de "precisión como ventaja competitiva" comunicando a clientes e inversionistas que metrados con precisión 100% (vs. 72-75% histórico) reduce riesgos de variaciones de obra, controversias de pago, y paralizaciones, generando ROI superior en términos de relaciones comerciales y reputación. Se recomienda además capacitar a estimadores en interpretación de reportes de precisión, enseñando que "100% no significa perfección matemática absoluta sino confiabilidad de  $\pm 0-1\%$  en partidas estándar donde algoritmo ha sido validado exhaustivamente".

**En relación al Objetivo Específico C:** Evaluar la eficiencia del código de programación para la automatización en el sustento técnico normativo de los metrados en

partidas de estructuras con Dynamo Revit, Cusco–Cusco, 2025 para asegurar conformidad integral con RNE E.060 y marcos normativos peruanos la investigación valida que código de programación garantiza sustento técnico normativo del 100% en categorías estándar (Concreto Estructural, Acero de Refuerzo, Elementos Estándar) y 73% en categorías complejas (Encofrado, Elementos Irregulares), conforme a Reglamento de Metrados Peruano RNE E.060. Se recomienda categóricamente que empresas constructoras implementen protocolo de "certificación normativa" donde cada reporte automatizado incluya declaración firmada por ingeniero responsable indicando: "Metrados generados automáticamente mediante código Dynamo Revit conforme a RNE E.060 Capítulo [X], validado mediante [método de auditoría], precisión esperada [100% o 73% según categoría partida], LOD de proyecto [300/350/400]". Esta declaración genera trazabilidad legal y evidencia ante entidades fiscalizadoras (OSCE, supervisores de obra, gobiernos locales) que metrados cumplen normativa técnica peruana. Se recomienda desarrollar matriz de "mapeo RNE-Algoritmo Dynamo" documentando explícitamente cómo cada requisito de Reglamento de Metrados Peruano es implementado en código: (1) RNE E.060 Cap. 2 "Requisitos de concreto": algoritmo verifica  $f_c$ , ubicación de elemento (zona sísmica), altura de elemento, y genera documentación; (2) RNE E.060 Cap. 7 "Acero de refuerzo": algoritmo extrae diámetro, longitud de barras, traslapes según  $d = 1.3 * L_d$  (longitud de desarrollo), recubrimientos mínimos; (3) Reglamento de Metrados "Partidas de estructuras": algoritmo sigue unidades ( $m^3$  concreto, kg acero,  $m^2$  encofrado) y clasificaciones de partidas (partidas simples, partidas derivadas, etc.). Este mapeo explícito permite que profesionales sin expertise normativo profunda comprendan cómo automatización es conforme a regulaciones. Se recomienda establecimiento de "comité normativo interno" en empresas constructoras integrando ingenieros estructurales, inspectores de obra, estimadores, y especialistas BIM, reuniéndose trimestralmente para: (1) revisar cambios en RNE o

normativa complementaria, (2) evaluar si algoritmos requieren actualización, (3) socializar resultados de auditorías normativas realizadas en proyectos en ejecución. Se recomienda además que gobierno peruano (Ministerio de Vivienda, OSCE) considere adopción de este código como "referencia técnica nacional para automatización de metrados conforme a RNE E.060", facilitando sua adopción en sector público y generando estándar nacional. Para regiones de Perú con normativa constructiva suplementaria (RNE E.020 cargas, E.030 sismorresistencia, E.050 suelos), se recomienda investigación complementaria adaptando código Dynamo a estos marcos específicos, validando que automatización es escalable a nivel nacional. Finalmente, se recomienda que empresas transfiera el código a entidades fiscalizadoras (OSCE, gobiernos locales, supervisores) como herramienta de auditoría, permitiendo que autoridades validen metrados de contratistas mediante algoritmo automatizado versus metrados presentados, detectando discrepancias sistemáticas que podrían evidenciar fraude o negligencia técnica.

### VIII. Referencias Bibliográficas

Alathamneh, A. (2024). BIM-based quantity takeoff: Current state and future prospects. *Automation in Construction*, 105549. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105549>

Boeykens, S. (2012). *Bridging building information modeling and parametric design*. Lirias, Katholieke Universiteit Leuven.

Borja, R. P. (2017). *Comparación del sistema tradicional vs la implementación del BIM (Building Information Management) en la etapa de diseño y seguimiento en ejecución. Análisis de un caso de estudio* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santiago de Guayaquil]. Repositorio institucional de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil <http://repositorio.ucsg.edu.ec>

Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). (2018). *Reglamento nacional de metrados para obras de edificación*. CAPECO.

Carrera Cosavalente, L. (2021). *Automatización de metrados en edificaciones multifamiliares mediante la metodología BIM y la programación visual en Dynamo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca <http://repositorio.unc.edu.pe>

Condori Atencio, J. (2020). *Evaluación de la variabilidad de metrados de estructuras en expedientes técnicos de edificaciones públicas* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio institucional de la Universidad Privada de Tacna

<http://repositorio.upt.edu.pe>

Corrales, D., & Saravia, D. (2020). Ventajas del BIM en la compatibilización de proyectos. *Revista de Ingeniería Civil*, 14(3), 201–218.

Corrales, J., & Saravia, D. (2020). *Implementación de la metodología Virtual Design and Construction (VDC) en las etapas de diseño y construcción para reducir el plazo en proyectos de edificaciones en el Perú* [Tesis de maestría, Universidad de Ingeniería].

Repositorio institucional de la Universidad de Ingeniería  
<http://hdl.handle.net/10757/651670>

Díaz Valdivia, J. C. (2018). *Implementación de tecnología BIM-VDC para la gestión del diseño y construcción de instalaciones mecánicas eléctricas, caso retail restaurantes EKEKO* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú

Díaz Valdivia, L. (2018). Criterios de modelado en BIM para el control de proyectos. *Revista Técnica de la Construcción*, 21(2), 156–171.

Díaz Veramendi, C. A., & Morales Castillo, R. A. (2024). *Implementación de Dynamo y PowerBI para automatizar la obtención de metrados y reportes en expedientes*

*técnicos de colegios públicos ejecutados por el Programa Nacional de Infraestructura Educativa (PRONIED)* [Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

Repositorio institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

DynamoDS. (2012). *Dynamo: Accessible visual programming language*.  
<https://dynamods.github.io/>

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

ebac.mx. (2016, octubre 24). ¿Qué es AutoCAD y para qué sirve? *ebac.mx*.  
<https://ebac.mx/blog/que-es-autocad-y-para-que-sirve>

Ecuador, R. B. I. M. (2024). *Ruta BIM: Modernización de sistemas de gestión en construcción*.

Ergen, F. (2021). Development of BIM software with quantity take-off and cost estimation functions. *Journal of Civil Engineering and Management*, 27(1), 45–62.  
<https://doi.org/10.3846/jcem.2021.12893>

Espíritu Vargas, I. (2025). *Análisis comparativo de metrados y costos en estructuras mediante metodología tradicional y metodología BIM* [Tesis de pregrado, Universidad Continental].

Repositorio institucional de la Universidad Continental

Finanzas, Ministerio de Economía y. (2022). *Resolución Directoral N° 0001-2022-EF/63.01: Directivas para adopción de BIM en proyectos públicos de categoría B*.

Ministerio de Economía y Finanzas.

<https://www.mef.gob.pe/>

García, M. (2021). Metodología de investigación aplicada. *Revista de Métodos de Investigación*, 15(2), 45–62.

<https://jalfaroman.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/03/dosier-metodologia-e-investigacion-aplicada-2018.pdf>

Gonzales, A. (2016). *Entornos virtuales de construcción volumétrica*. Editorial Académica.

Gonzales, R. (2016). Información integrada en modelos BIM. *Construction Technology Review*, 12(4), 89–105.

Hijar, R. (2020a). *Creación de addins para Revit usando C Sharp*. Editorial Técnica BIM.

Hijar, R. (2020b). Programación para addins en Revit mediante C#. *Revista de Desarrollo de Software BIM*, 8(3), 120–135.

Huamán Huamán, J. (2019). *Propuesta de modelado en objetos BIM para automatización de metrados de acuerdo con la Norma Técnica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

International, Long. (2024). *Quantity takeoff accuracy in construction projects: Global benchmarking report*. Long International Publications.

Johnsen, L., Tadayon, A., & Memic, N. (2024). Impact of Virtual Design and Construction (VDC) on the Construction Industry: Changes and Challenges for Project Managers. *Procedia Computer Science*, 239, 974–981. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.259>

Johnsen, T. (2024). Revisión de modelos paramétricos en BIM-VDC. *BIM Review Journal*, 5(1), 28–45.

Kensek, K. (2014). *Architecture, design and construction: Theory, methods and practice*. Routledge. <https://www.routledge.com/Architecture-Design-and-Construction-Theory-Methods-and-Practice/Kensek/p/book/9781138577763>

Kensek, K. M. (2014). Integration of environmental sensors with BIM: Case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API. *Informes de la Construcción*, 66(536), e033. <https://doi.org/10.3989/ic.13.019>

Latinoamericana, R. B. I. M. (2024). *BIM y la transformación digital de la construcción: Impulso a la eficiencia en Latinoamérica*. Red BIM Latinoamericana. <https://www.ruta-bim.com/>

Li, Y., Liu, Z., & Zhu, Y. (2021). Impact of BIM-based quantity takeoff for accuracy of cost estimation. *International Journal of Civil Engineering*, 19(3), 127–142. <https://doi.org/10.1007/s40999-020-00548-z>

McClymonds, D. (2023). *Exploring the challenges of implementing parametric modeling for robotic construction* [Tesis doctoral, Pennsylvania State University].

Repositorio institucional de Pennsylvania State University  
<https://par.nsf.gov/servlets/purl/10466066>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006a). *Norma E.060 Concreto Armado - Reglamento Nacional de Edificaciones*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.  
<https://www.sencico.gob.pe/>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006b). *Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.060 concreto armado*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.  
<https://www.sencico.gob.pe/>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas (RD-073-2010-VIVIENDA)*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.  
<https://www.sencico.gob.pe/>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2023). *Guía nacional BIM Perú: Lineamientos para la implementación de modelado de información de construcción en inversión pública*. Estado Peruano.  
<https://www.gob.pe/vivienda>

Monteiro, A., & Martins, J. (2013). A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. *Automation in Construction*, 35, 238–253.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.005>

Moraleda, P. (2018a). Descripción del BIM como herramienta para la gestión de información. *Hospitecna*, 6(2), 74–89.  
<https://hospitecna.com/documentacion/bim-gestion-informacion/>

Moraleda, P. (2018b). Level of Development and Information Requirements in BIM. *Journal of BIM Research*, 4(3), 156–172.

Moreno, J. (2020). Investigación aplicada en contextos reales. *Journal of Applied Research*, 28(5), 310–325.  
<https://revista.uisrael.edu.ec/index.php/rcui/article/download/400/197>

Murphy, D. (2023). Sector construcción: La automatización de procesos de ingeniería con BIM. *Peruconstruye*, 11(4), 45–60.  
<https://www.peruconstruye.net/>

Nezamaldin, D. (2020). *Parametric design with visual programming in Dynamo: Technical analysis and applications in architectural automation* [Tesis doctoral, Universidad Técnica de Estocolmo]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica de Estocolmo  
<https://www.kth.se/>

Ng, C. (2024). BIM quantity takeoffs with Power BI and Frame Integration. *BIM Frame Journal*, 7(2), 88–102.  
<https://www.bimframe.co/blog/how-to-create-bim-quantity-takeoffs-construction-2025/>

Olsen, D., & Taylor, J. (2017). Quantity take-off Using Building Information Modeling. *International Journal of Construction Education and Research*, 13(3), 196–

212.

<https://doi.org/10.1080/15578771.2016.1144862>

Palacios, S. J. A. (2024). BIM automation and its relationship with information management in construction projects. *Dialnet*, 42(1), 15–32.

<https://dialnet.unirioja.es/>

Pérez Juste, R. (2020). Diseños cuasi-experimentales. *Evaluación en Educación*, 18(3), 234–256.

Pontificia Universidad Católica del Perú. (2021). *Segundo estudio sobre la implementación de BIM en proyectos de construcción en Lima y Callao*. PUCP, Departamento de Ingeniería.

<https://www.pucp.edu.pe/>

Pontificia Universidad Católica del Perú. (2023). *Tercer estudio de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima 2023*. PUCP, Grupo de Investigación GETEC.

<https://www.pucp.edu.pe/>

Porras-Díaz, H., Sánchez-Rivera, O., & Galvis-Guerra, J. (2021). Automation of quantity take-off for structural elements. *Journal of Physics: Conference Series*, 1957(1), 012012.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1957/1/012012>

Quinteros Pérez, J. (2023). *Propuesta de optimización de tiempo en diseño y ejecución de sistemas de plomería mediante metodología VDC* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Los Andes].

Repositorio institucional de la Universidad Tecnológica de Los Andes

Ramos, J. (2019). Virtual Design Construction (VDC) en proyectos de construcción. *Revista de Construcción*, 25(2), 67–84.

Ramos, J. (2019). *Eficiencia de la metodología BIM a través de la simulación 4D, 5D en el control de tiempos y costos para la obra mejoramiento del servicio de seguridad ciudadana en el distrito de Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano <http://hdl.handle.net/20.500.14082/10636>

Rehman, I. (2025). Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects. *ScienceDirect*, 168, 456–471. <https://www.sciencedirect.com/>

Reyes, J. (2021). *Automatización de metrados mediante la API de Revit para la optimización de tiempos en la elaboración de presupuestos* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú <https://tesis.pucp.edu.pe/>

Rodríguez, C. (2020). Diseños cuasi-experimentales en investigación. *Metodología de Investigación Científica*, 16(4), 189–207.

Taquire, E. (2019). *Problemas en la ejecución de expedientes técnicos durante la construcción de obras de infraestructura pública en Perú. Estudio en Lima* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano <https://tesis.unap.edu.pe/>

TriArt Group, EIRL. (2024). *Gestión de información del modelos BIM*. TriArt Group, EIRL.  
<https://triart.com.do/tg/bim/>

UNCTAD. (2005). *Facilitating transfer of technology to developing countries: Measures for successful technology transfer*. United Nations Conference on Trade and Development.  
[https://unctad.org/system/files/official-document/iteipc20045\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/iteipc20045_en.pdf)

van der Aalst, W. M. P., ter Hofstede, A. H. M., Kiepuszewski, B., & Barros, A. P. (2003). Workflow patterns. *Distributed and Parallel Databases*, 14(1), 5–51.  
<https://doi.org/10.1023/A:1022883727209>

Vargas Vargas, W. (2022). *Implementación de la metodología BIM para la optimización de metrados en proyectos de edificación* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].  
Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano  
<https://repositorio.unap.edu.pe/>

Vargas, Z. (2024). *Deficiencias del expediente técnico y su relación con la mala ejecución de obras públicas* [Tesis de maestría, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].  
Repositorio institucional de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión  
<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/>

Yauri, J. E. (2021). *Optimización en la gestión de información con programación C-Sharp desde un enfoque VDC aplicado al proyecto I.E. Mariscal Castilla* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Los Andes].

Repositorio institucional de la Universidad Tecnológica de Los Andes

<https://repositorio.utea.edu.pe/>

Zarate, L. (2021). Confiabilidad y validez de instrumentos de medición. *Revista de Métodos Cuantitativos*, 19(2), 78–95.

Zhang, H. (2024). Optimization of architectural design and construction with BIM-PLM integration. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(4), 04024009.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002549](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002549)

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes