

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**T E S I S**

**Dynamo a través de BIM para la automatización de metrados estructurales,  
durante la formulación de un proyecto de edificación educativa en Pasco,**

**2024**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Civil**

**Autores:**

**Bach. Wilder Rubén ARTEAGA CRISTOBAL**

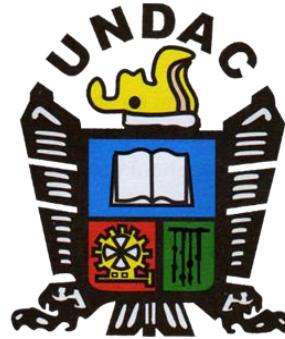
**Bach. Jheferson Stalyn VALERIO PALOMINO**

**Asesor:**

**Mg. Williams Antonio MUÑOZ ROBLES**

**Cerro de Pasco – Perú - 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**T E S I S**

**Dynamo a través de BIM para la automatización de metrados estructurales,  
durante la formulación de un proyecto de edificación educativa en Pasco,**

**2024**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO

**PRESIDENTE**

---

Mg. Fredy Luis PALMA FERNANDEZ

**MIEMBRO**

---

Mg. Marcial Simón CANCAPA HANCCO

**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Unidad de Investigación**

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 349-2025-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**“Dynamo a través de BIM para la automatización de metrados estructurales, durante la formulación de un proyecto de edificación educativa en Pasco, 2024”**

Apellidos y nombres del tesis

**Bach. Wilder Rubén ARTEAGA CRISTOBAL**

**Bach. Jheferson Stalyn VALERIO PALOMINO**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. Williams Antonio MUÑOZ ROBLES**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Civil**

Índice de Similitud

**17 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 26 de noviembre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO  
ISIDRO Ruben Edgar FAU  
20154605046 se  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 26.11.2025 11:51:51 -05:00

## **DEDICATORIA**

Dedicamos con una gran alegría este trabajo a nuestras familias que sin ellas no hubiera sido posible realizarlo, el apoyo constante e incondicional en la formación de nuestras vidas universitarias y a lo largo de toda la vida, por todo lo mencionado esta investigación está ofrecido a ustedes.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestros docentes que desde el comienzo de la formación universitaria estuvieron presentes aportando y compartiéndonos sus conocimientos y en especial al asesor de esta tesis, por las recomendaciones brindadas y el apoyo para el desarrollo de esta investigación, a la universidad que nos acogió como un segundo hogar.

## RESUMEN

La investigación analizó el aporte de la integración de Dynamo en un entorno BIM para la automatización de metrados estructurales en el modelado 3D del pabellón administrativo de la I.E. César Vallejo N° 34047, en Cerro de Pasco. Con el objetivo de determinar la relación entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales, durante la etapa de la formulación del proyecto de una edificación educativa, se empleó el método sintético como enfoque general para facilitar el desarrollo de los objetivos, para ello, se seleccionó un proyecto educativo ejecutado, del cual se recopiló la información técnica necesaria para su modelado en Revit y el desarrollo de rutinas en Dynamo orientadas a la extracción automática de metrados. El enfoque cuantitativo permitió comparar los resultados obtenidos mediante los algoritmos creados con los metrados manuales del expediente original y con los elaborados por el investigador. Esta comparación permitió analizar variaciones en precisión, tiempo de procesamiento, complejidad operativa e impacto en costos. Los resultados evidenciaron que la automatización reduce significativamente el trabajo manual, incrementa la exactitud de los metrados y agiliza la obtención de información estructural. El estudio se enmarca en un nivel de investigación relacional, dado que se buscó determinar empíricamente el grado de asociación entre las variables mediante técnicas estadísticas no paramétricas. Para ello, se aplicó el coeficiente Rho de Spearman, contrastando la hipótesis general con datos obtenidos del proceso de automatización. Los resultados evidenciaron un  $Rho = 0.996$  y un  $p = 0.000$ , lo que permitió rechazar la hipótesis nula y confirmar, con un nivel de confianza del 95 %, la presencia de una correlación positiva muy fuerte entre el uso de Dynamo y la automatización de metrados estructurales. Por lo que se concluye que la integración operativa entre Revit y Dynamo constituye un recurso

metodológico altamente eficiente para mejorar la productividad, precisión y consistencia de la cuantificación estructural en etapas de diseño.

**Palabras claves: Dynamo, cuantificación, productividad.**

## ABSTRACT

The research analyzed the contribution of the integration of Dynamo in a BIM environmentnando for the automation of structural measurements in the 3D modeling of the administrative pavilion of the César Vallejo N° 34047 School, in Cerro de Pasco. To determine the relationship between the use of Dynamo through BIM and the automation of structural quantity take-offs during the project formulation stage of an educational building, the synthetic method was employed as a general approach to facilitate the achievement of the objectives. For this purpose, a completed educational project was selected, from which the necessary technical information was gathered for its modeling in Revit and the development of routines in Dynamo aimed at the automatic extraction of quantity take-offs. The quantitative approach allowed for a comparison of the results obtained using the algorithms created with the manual quantity take-offs from the original project file and with those developed by the researcher. This comparison allowed for the analysis of variations in accuracy, processing time, operational complexity, and cost impact. The results showed that automation significantly reduces manual work, increases the accuracy of measurements, and speeds up the acquisition of structural information. The study falls within a relational research framework, as it sought to empirically determine the degree of association between variables using non-parametric statistical techniques. To this end, Spearman's rho coefficient was applied, testing the general hypothesis against data obtained from the automation process. The results showed a  $\text{Rho} = 0.996$  and a  $p = 0.000$ , which allowed us to reject the null hypothesis and confirm, with a 95% confidence level, the presence of a very strong positive correlation between the use of Dynamo and the automation of structural measurements. Therefore, concluded that the operational integration between Revit and Dynamo

constitutes a highly efficient methodological resource to improve the productivity, accuracy, and consistency of structural quantification in design stages.

**Keywords: Dynamo, quantity take-offs, productivity.**

## INTRODUCCIÓN

Hoy en la actualidad ya es muy conocido el termino BIM que vendría ser una metodología de trabajo virtual de construcción, esta nos ayuda a poder gestionar datos de un modelo 3D de construcción definido por el usuario, tales como valores de las dimensiones, el peso y las características que tienen cada uno de los elementos puestos en el entorno de trabajo, así mismo se podrá filtrar datos que sean requeridos y poder cuantificarlos.

Estos datos de cuantificación nos darán como resultado valores que se necesita para la obtención de la planilla de metrados acorde a la normativa técnica de metrados, tradicionalmente para poder hacer el proceso de metrados de una edificación se crea una hoja de formato convencional de planilla de metrados donde se define los valores de dimensiones que son rellenados por el propio usuario con la ayuda de distintos softwares de cálculo y diseño, haciendo todo este proceso un trabajo repetitivo, lo que hace que haya mayor tiempo de desarrollo así mismo el especialista encargado de cuantificar está inmerso a cometer errores en el cálculo, lo que lleva a una cuantificación no real y errónea.

Existen diferentes tipos de programas que se usa para el uso de la metodología BIM tales como el ArchiCAD, Allpan, Formlt y Revit siendo este último es el más utilizado, estando en el top de plataformas informáticas más usadas por profesionales en el rubro de la construcción.

Core Dynamo es un software de programación visual de código abierto, que se creó para poder agilizar los flujos de trabajo que, en el entorno de Revit, esta extensión nos permite crear algoritmos para poder procesar datos y gestionar o crear elementos en el entorno de trabajo.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1. Delimitación espacial .....	2
1.2.2. Delimitación temporal.....	2
1.2.3. Delimitación económica: .....	2
1.3. Formulación del problema .....	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problemas específicos .....	3
1.4. Formulación de objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos específicos .....	3
1.5. Justificación de la investigación .....	4
1.5.1. Justificación teórica.....	4
1.5.2. Justificación metodológica.....	4
1.5.3. Justificación práctica .....	5
1.6. Limitaciones de la investigación.....	5

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Antecedentes de estudio .....	6
2.2.	Bases Teóricas - Científicas .....	12
2.2.1.	Building Information Modeling (BIM):.....	12
2.2.2.	Dynamo .....	16
2.2.3.	Norma Técnica de metrados.....	25
2.3.	Definición de términos básicos .....	30
2.4.	Formulación de hipótesis .....	33
2.4.1.	Hipótesis general .....	33
2.4.2.	Hipótesis específicas: .....	34
2.5.	Identificación de variables .....	34
2.5.1.	Variable independiente.....	34
2.5.2.	Variable dependiente .....	34
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.....	35

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de investigación .....	36
3.2.	Nivel de investigación.....	36
3.3.	Métodos de investigación.....	37
3.4.	Diseño de investigación .....	38
3.5.	Población y muestra .....	38
3.5.1.	Población .....	38
3.5.2.	Muestra:.....	39
3.5.3.	Muestreo:.....	41

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	41
3.6.1. Equipo informativo .....	42
3.6.2. Softwares.....	43
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación .....	48
3.7.1. Selección: .....	48
3.7.2. Validación: .....	48
3.7.3. Confiabilidad:.....	48
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	49
3.8.1. Procedimiento .....	49
3.9. Tratamiento estadístico .....	51
3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica .....	53
3.10.1. Orientación ética .....	53
3.10.2. Orientación filosófica y epistémica.....	54

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo .....	56
4.1.1. Datos recolectados .....	57
4.1.2. Elaboración de la construcción virtual – Modelo .....	58
4.1.3. Desarrollo de los Algoritmos .....	63
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	70
4.2.1. Detalle de metrados ejecutados en la partida de movimiento de tierras ...	70
4.2.2. Detalle de metrados ejecutados en la partida de concreto simple .....	71
4.2.3. Detalle de metrados ejecutados en la partida de concreto armado.....	72
4.2.4. Factores de comparación y parámetros de medición .....	75
4.2.5. Resultados sometidos al porcentaje de variación en la precisión .....	76

4.2.6. Resultados sometidos a la variación de costos.....	78
4.2.7. Resultados del análisis de la dimensión programación visual .....	82
4.2.8. Resultados del análisis de la dimensión del nivel de automatización .....	82
4.2.9. Resultados del análisis de la dimensión complejidad de algoritmos .....	83
4.2.10. Resultados del análisis de la dimensión de la eficiencia algorítmica.....	84
4.2.11. Resultados del resumen del modelado 3D en Revit.....	86
4.2.12. Resultados de la dimensión de productividad mediante tiempo .....	86
4.3. Prueba de hipótesis.....	87
4.3.1. Procedimientos de contraste de Hipótesis.....	87
4.3.2. Prueba de Normalidad.....	91
4.3.3. Contrastación de Hipótesis.....	94
4.4. Discusión de resultados.....	102
4.4.1. Comparación de resultados .....	102

## CONCLUSIONES

## RECOMENDACIONES

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Partidas en la especialidad de estructuras .....	26
Tabla N°2: Operacionalización de variables .....	35
Tabla N°3: Cantidad de tipos de nodos utilizados en los Algoritmos de movimiento de tierras .....	64
Tabla N°4: Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos concreto simple	65
Tabla N°5: Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos concreto armado	66
Tabla N°6: Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos de encofrado .....	67
Tabla N°7: Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos acero reforzado .	67
Tabla N°8: Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos en la hoja de metrados .....	68
Tabla N°9: Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos .....	69
Tabla N°10: Resumen de tipos de nodos.....	70
Tabla N°11: Tabla de partidas de movimiento de tierras .....	70
Tabla N°12: Tabla de resultados y precisión de estos mismos .....	71
Tabla N°13: Tabla de partidas de concreto simple.....	71
Tabla N°14: Tabla de resultados y precisión de estos mismos .....	72
Tabla N°15: Tabla de resultados de metrados de concreto armado .....	73
Tabla N°16: Tabla de resultados y precisión de estos mismos .....	74
Tabla N°17: Tabla de escala de precisión .....	75
Tabla N°18: Tabla de escala de costo.....	75
Tabla N°19: Tabla de Resultados de precisión movimiento de tierras .....	76
Tabla N°20: Tabla de Resultados de precisión concreto simple .....	76
Tabla N°21: Tabla de Resultados de precisión concreto armado.....	77

Tabla N°22: Tabla de Resultados de variación de costo y escala de movimiento de tierras .....	78
Tabla N°23: Tabla de Resultados de variación de costo y escala de concreto simple .....	79
Tabla N°24: Tabla de Resultados de variación de costo y escala de concreto armado .....	80
Tabla N°25: Resultados y escalas finales .....	82
Tabla N°26: Complejidad del algoritmo de los scripts de encofrado y acero de refuerzo estructural .....	82
Tabla N°27: Script personalizado de encofrado estructural y acero de refuerzo estructural .....	83
Tabla N°28: Análisis de la complejidad de algoritmos .....	84
Tabla N°29: Escala de Medición de eficiencia algorítmica .....	85
Tabla N°30: Eficiencia algorítmica .....	85
Tabla N°31: Índice de automatización por scripts mediante etapas .....	86
Tabla N°32: Porcentaje de reducción de tiempo .....	87
Tabla N°33: Análisis de relación entre programación visual y nivel de automatización .....	88
Tabla N°34: Análisis de relación complejidad de algoritmos y eficiencia algorítmica .....	89
Tabla N°35: Escala de automatización en Revit mediante scripts .....	90
Tabla N°36: Relación entre la productividad y el modelado 3D en Revit por subpartida .....	90
Tabla N°37: Prueba de normalidad Shapiro - Wilk – hipótesis general .....	92
Tabla N°38: Prueba de normalidad Shapiro - Wilk – hipótesis específica .....	93
Tabla N°39: Coeficiente de correlación de la Variable Dynamo a través de BIM y Automatización de metrados estructurales .....	95
Tabla N°40: Valores específicos de la correlación Sperman .....	96

Tabla N°41: Coeficiente de correlación entre la dimensión programación visual y el nivel de automatización de metrados estructurales. ....	97
Tabla N°43: Coeficiente de correlación entre la dimensión complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica. ....	99
Tabla N°45: Coeficiente de correlación modelado 3D en Revit y la productividad..	101
Tabla N°47: Resultados finales propias y de los antecedentes.....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Ciclo de vida de un proyecto según el modelo BIM .....	13
Figura N°2: Mapa de Implementación de BIM a nivel mundial en el 2016 .....	14
Figura N°3: Escala de Dimensiones de la Metodología BIM .....	16
Figura N°4: Entorno de la extensión Dynamo Core 2.10.1.4002.....	17
Figura N°5: Espacios de trabajo en el entorno de Dynamo.....	19
Figura N°6 Visualización de nodos del software Dinamo .....	20
Figura N°7: Flujo de datos con información existente en Dynamo .....	22
Figura N°8: Propiedades del nodo personalizado .....	23
Figura N°9: Edición de nodo personalizado.....	23
Figura N°10: Códigos Escritos en Python – Creación de habitaciones .....	25
Figura N°11: Población: Ambientes de la I.E. Cesar Vallejo N°34047.....	38
Figura N°12: Muestra: Pabellón N° 1 de la I.E. Cesar Vallejo N° 34047.....	40
Figura N°13: Ordenador HP ProBook Utilizado en el desarrollo del proyecto .....	42
Figura N°14: Interfaz del programa Autodesk Revit 2021 .....	43
Figura N°15: Jerarquía de datos en Revit.....	44
Figura N°16: Parámetros de un elemento perteneciente a una familia .....	45
Figura N°17: Niveles de desarrollo - LOD .....	46
Figura N°18: Criterios de modelo para un casco estructural.....	47
Figura N°19: Proceso de datos para la elaboración de metrados automatización en Dynamo en partidas de metrados estructurales .....	52
Figura N°20: Formato original de los metrados por módulos .....	57
Figura N°21: Archivos originales de los metrados estructurales del Módulo III.....	57
Figura N°22: Modelo virtual pertenecientes para cimentaciones, nivelación de terreno y apisonado.....	58

Figura N°23: Modelo virtual perteneciente a rellenos en cimentación y nivelación ...	58
Figura N°24: Modelo virtual en elementos estructurales pertenecientes a las cimentaciones de la edificación.....	59
Figura N°25: Modelo virtual del casco estructural de concreto armado y también se modelo partidas de concreto simple .....	60
Figura N°26: Modelo virtual de encofrados pertenecientes a los elementos requeridos .....	61
Figura N°27: Modelado virtual de los aceros de refuerzo en los elementos estructurales .....	62
Figura N°28: Construcción virtual completa.....	63
Figura N°29: Total de Algoritmos utilizados en la partida de movimiento de tierras .	64
Figura N°30: Total de algoritmos utilizados en la partida de concreto simple .....	65
Figura N°31: Total de algoritmos utilizados en la partida de concreto armado .....	66
Figura N°32: Total de algoritmos utilizados en la partida de encofrados .....	67
Figura N°33: Total de algoritmos utilizados en la partida de acero reforzado.....	68
Figura N°34: Total de algoritmos utilizados en el desarrollo de la hoja de metrados .	69
Figura N°35: Total de algoritmos utilizados en el desarrollo de los parámetros .....	69

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

En los proyectos de edificación educativa, la cuantificación de metrados estructurales constituye una fase determinante para asegurar la coherencia entre el diseño, la estimación presupuestal y la programación de obra. No obstante, la metodología tradicional basada en metrados manuales presenta limitaciones inherentes, como demoras operativas, inconsistencias en la interpretación de planos y variaciones generadas por la repetición exhaustiva de cálculos. Estas dificultades se intensifican en proyectos de mediana y gran envergadura, donde el número de elementos estructurales incrementa la probabilidad de divergencias entre el modelo proyectado y las cantidades obtenidas. Ante este escenario, se vuelve necesario incorporar herramientas que mejoren la precisión de la cuantificación y reduzcan la dependencia de procesos manuales repetitivos. La integración de Dynamo dentro del entorno BIM permite automatizar la extracción de metrados mediante algoritmos que procesan de manera directa los parámetros del modelo 3D. Sin embargo, en el contexto local de Pasco no existe evidencia

suficiente que determine el grado de relación entre su aplicación y la eficiencia alcanzada en la automatización de metrados estructurales durante la formulación de proyectos educativos, especialmente considerando que las partidas estructurales presentan alta recurrencia y representan un volumen significativo de trabajo repetitivo que podría optimizarse mediante automatización.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

Las siguientes delimitaciones permitirán definir el alcance y los límites de la investigación, asegurando un enfoque preciso y específico de Dynamo a través de BIM para la automatización de metrados estructurales durante la etapa de formulación de una edificación educativa en la ciudad de Pasco 2024.

### **1.2.1. Delimitación espacial**

El desarrollo de la investigación está siendo elaborado en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, departamento de Pasco. Específicamente en el colegio Cesar Vallejo.

### **1.2.2. Delimitación temporal**

El desarrollo de la investigación se elaborará entre los meses de julio y octubre del año 2024. Durante este tiempo, se realizarán todas las actividades de investigación, incluyendo la recolección de datos, la elaboración de los scripts (algoritmos de cada partida estructural del colegio) en el programa de Dynamo y el análisis de los resultados obtenidos.

### **1.2.3. Delimitación económica:**

La Investigación es abastecida económicamente por nosotros mismos los tesistas la cual es capaz de permitir que se desarrolle la investigación sin ningún inconveniente.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál es la relación entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio Cesar Vallejo N° 34047, en el distrito de Yanacancha?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- a.** ¿Qué relación existe entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de los metrados estructurales?
- b.** ¿Qué relación existe entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales?
- c.** ¿Qué relación existe entre el modelado 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la relación entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio Cesar Vallejo N° 34047, en el distrito de Yanacancha.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a.** Analizar la relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización en metrados estructurales.
- b.** Evaluar la relación entre la complejidad de algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales.

- c. Establecer la relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad en la elaboración de metrados estructurales.

## **1.5. Justificación de la investigación**

### **1.5.1. Justificación teórica**

La investigación brindará como resultado la adquisición de conocimientos en los profesionales de la carrera de ingeniería civil, arquitectura o del ámbito sobre el desarrollo de algoritmos con Dynamo que nos ayudarán a obtener los metrados estructurales de forma automatizada con todos los parámetros requeridos en la etapa de la formulación de una edificación no solo educativa si no en las demás infraestructuras. De esta manera los profesionales podrán utilizar estos conocimientos para emplear estrategias de uso y manejo correcto de Dynamo en un ámbito de construcción más extensa.

### **1.5.2. Justificación metodológica**

La metodología empleada en el desarrollo de metrados de cualquier tipo de proyecto de construcción en el Perú es a través de una cuantificación manual, el cual se desarrolla a través de diferentes hojas de cálculos, para esto es necesario un análisis exhaustivo de los planos de la construcción, a través de esta investigación se va a desarrollar una nueva metodología para el trabajo en los metrados, no solo centrándose en las partidas de metrados estructurales como indica la investigación, sino también poder ampliar a otras partidas, presupuestar la obra y así mismo realizar un cronograma de manera automatizada con la ayuda de Dynamo, esto a la vez significa el realizar un modelado 3D de la construcción lo que nos dará una mejor percepción de la edificación que estamos proyectando.

### **1.5.3. Justificación práctica**

Los errores al momento de realizar la cuantificación en los metrados son muy comunes debido al error humano en estos procesos los cuales involucran cálculos en un proyecto, estas fallas pueden generar que se provoquen proyectos mal presupuestados y mal programados lo que afecta directamente que se desarrolle una obra de manera ideal, con la ayuda de Dynamo dentro de la automatización de metrados podemos evitar y disminuir estos errores los cuales van a beneficiar al proyecto teniendo un menor número de errores en estos y arrojando presupuestos más reales y cronogramas de obras más exactos.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

**Limitación de tiempo y recursos:** La elaboración de algoritmos en Dynamo exige tiempo de desarrollo y pruebas. Dado que la investigación se ejecuta en un periodo académico de cuatro meses, la programación podría no alcanzar la automatización total de todas las partidas estructurales, limitando el alcance y obligando a concentrar el análisis en un conjunto reducido de variables o metrados.

**Limitación en los resultados:** La interpretación de los resultados obtenidos podría verse afectada por la complejidad de los sistemas analizados y por la influencia de factores desconocidos o no controlados que podrían impactar en las propiedades del concreto, por ejemplo y así diversas partidas según los pensamientos subjetivos de cada investigador.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **➤ 1er antecedente:**

En la tesis: “Automatización en la elaboración del presupuesto y calendario valorizado a nivel de casco estructural en la etapa de licitación de un proyecto de edificación” De (Rugel, 2018) nos menciona que tiene el objetivo de demostrar que sea posible automáticamente generar un presupuesto y un calendario valorizado, partiendo de un modelo 4D y 5D para lo cual para poder comprobar ello realizó un add-in y lo cual explico toda la investigación durante 5 capítulos.

La investigación comienza con Capítulo 1 brindando los objetivos y describiendo la metodología que se aplicará en la tesis. El Capítulo 2 presenta la situación actual de la metodología para la gestión de costos y tiempos en proyectos de edificación. El Capítulo 3 empieza la creación del modelo 3D hasta la entrega final de los productos (Presupuesto y Calendario Valorizado). El Capítulo 4 detalla la aplicación de la metodología y las

características del proyecto. Finalmente, el Capítulo 5 expone los resultados, recomendaciones y conclusiones propuestas en los objetivos.

➤ **2do antecedente:**

Seguidamente en la investigación: “Desarrollo del lenguaje de programación para automatización de Dynamo con propósito de metrados” De (Pérez, 2020), hace mención que el propósito fundamental del artículo es la creación de algoritmos con lenguaje de programación visual desde el interfaz de Dynamo para la automatización de metrados en un modelo tridimensional generado en Revit, mediante la elaboración de nodos específicos para las partidas de concreto armado según la Normativa Peruana. Esto facilita el procedimiento de metrados en comparación con el método tradicional de cálculo, que se basa en dibujos en dos dimensiones, propensos a errores y a una labor ardua. Además, tiene la ventaja de que cualquier modificación realizada en el modelo paramétrico se actualiza de manera automática. El proyecto de prueba consistió en una estructura de concreto reforzado de una vivienda convencional; por lo tanto, se logró obtener la cuantificación de los metrados y la presentación de las tablas, generando un gran aporte para la ingeniería civil gracias a la implementación del software Dynamo.

➤ **3er antecedente:**

En la investigación: “Propuesta de uso de la herramienta Dynamo para optimizar el tiempo en el proceso de valorización de subcontratistas de acabados en edificios multifamiliares menores de 10 pisos de NSE A y B ejecutado por una Pyme constructora en Lima Metropolitana” De (Chavez Guerrero, 2021) tiene como objetivo desarrollar una propuesta de mejora ante

los problemas identificados, usando Dynamo durante implementación de una herramienta dentro de un entorno de trabajo BIM, lo cual permitirá optimizar el tiempo en el proceso de valorizaciones de los subcontratistas de acabados en edificios multifamiliares de hasta 10 pisos de NSE A y B, ejecutados por una PYME constructora en Lima Metropolitana. Se llevaron a cabo entrevistas con profesionales responsables de realizar las valorizaciones para identificar las principales deficiencias que se presentan en este proceso y, de este modo, formular la propuesta de solución. Finalmente, se validó la propuesta de solución a través del juicio de expertos; como resultado de las opiniones expresadas por estos y su nivel de interés percibido, se concluyó que la propuesta sería de gran valor en una posible implementación.

➤ **4to antecedente:**

Por otra parte, en la tesis: “Uso de Dynamo para Revit en la mejora de la gestión de información y modelo de un hotel” De (Bottger, 2018) menciona que uso la extensión de Dynamo para la gestión de información durante la planificación y ejecución de un hotel de 3 estrellas en Lima, analizando sus algoritmos en un contexto del modelado BIM 3D. para ello en la investigación se realizó en base a 7 capítulos. Empezando resaltar la importancia de incorporar algoritmos de programación visual para optimizar la manipulación de información en Revit, destacando que los plazos de entrega que son cada vez más exigentes y que la información desactualizada puede generar mayores costos y recursos. Seguidamente se realiza conceptos que le ayudaron con la gestión de información, para que luego se centra en detallar cómo crear automáticamente elementos de información en Revit, como la cuantificación y el presupuesto. Finalmente, ofrece conclusiones y

recomendaciones sobre el uso de Dynamo para mejorar la gestión de información y el modelado.

➤ **5to antecedente:**

En la siguiente tesis: “Evaluación de la estimación de metrados para los costos de la partida de arquitectura de una obra Retail en Lima en el 2019 con la implementación BIM” De (Pablo Medina\_Choccetoy, 2020) indica que con la implementación de la metodología BIM se realizó una evaluación en los metrados de arquitectura teniendo una optimización de costos en comparación de una obra sin BIM, para esto se utilizó diferentes tablas de escala, tanto de tiempo, calidad, costos y eficiencia; en la discusión de resultados se observó una reducción en los costos y sin retraso en los días de trabajo que conlleva el proceso de metrados en arquitectura con la utilización de BIM respecto a la no utilización de esta que presenta un mayor costo y también cierto número de días de retraso, se concluye que la utilización de Dynamo se logra el 43% de eficiencia así como la variación de cuantificación que va de un 16% a 25% en el proceso de metrado.

➤ **6to antecedente:**

En la investigación: “Integración del diseño tridimensional de carreteras y el análisis de la estructura del pavimento basado en BIM” de (Tao Ma, 2020) tuvo como objetivo desarrollar un modelo automático tridimensional de carreteras con parámetros estructurales controlables mediante Python en el entorno de Dynamo, para su posterior verificación y buscar mejorar la aplicación en la ingeniería de carreteras mitigando errores y repeticiones en el diseño, la implementación de esta metodología fue exitosa en cuanto al proceso de diseño con una eficiencia de un 45%, así como también se

desarrolló algoritmos que involucren el diseño de la guía (MEPDG) por lo que el estudio ofrece soluciones innovadoras y prácticas para el diseño de carreras y el análisis del pavimento.

➤ **7to antecedente:**

Por otra parte, en articulo científico: “Una aplicación práctica que utiliza el modelado paramétrico para la generación BIM según construcción a partir de nubes de puntos” (Jong Won Ma, 2022) tiene como objetivo investigar la viabilidad el modelo paramétrico para para poder tener un modelo BIM tal como se construye como objetos segmentados a criterio, se utiliza Dynamo dentro del interfaz del software para poder segmentar los puntos de referencia lo que hace que haya dependencia del modelador para poder reconstruir el modelado tal como indica las coordenadas de los puntos especificados.

➤ **8vo antecedente:**

El autor del artículo: “Adopción de la coordinación BIM 3D durante las primeras etapas del diseño en Egipto” (Mahmoud Othman, 2022) tiene como por objetivo implementar BIM en la fase de diseño y presentar estadísticamente la recopilación de datos de un antes y después de haber usado BIM, el primer escenario utilizado del CAD 2D, el segundo utilizando BIM tradicional y tercero utilizar el BIM completo mejorado con las adiciones de Dynamo, los datos resultantes fueron positivos para la implementación completa de BIM y Dynamo reduciendo los enfrentamientos o conflictos en campo.

➤ **9no antecedente:**

(Inês Caetano, 2019), con su investigación titulada “Integración de un Enfoque BIM algorítmico en un estudio de arquitectura tradicional”,

realizaron la integración tanto de un modelo en BIM con el diseño algorítmico de Dynamo, para de esta manera desarrollar un conjunto de fachadas paramétricas, el objetivo el cual fue lograr una mayor viabilidad en cuanto a costos y un resultado final de calidad y estético se logró a través de la automatización en cuantificación de cantidad de materiales como ladrillos de fachada y más detalles de la construcción con Dynamo en el modelo 3D y CAD, y de la investigación se concluyó que la fusión de BIM con programas algorítmicos influyeron en todo el proceso de diseño, desde la elección del tipo de fachada y la optimización de materiales en el proceso de construcción, se concluye que la utilización de Dynamo se logra el 64% de eficiencia de creación y gestión de datos.

➤ **10mo antecedente:**

(Alexis Girardet, 2021), con una investigación de “Un enfoque BIM paramétrico para fomentar el diseño y análisis de proyectos de puentes” hace mención que tiene por objetivo elaborar una serie de algoritmos para la creación de elementos que componen un puente, con parámetros incluidos que ayudaran a un posterior estudio en la especialidad de estructuras, dado así una solución para el modelado de diversos tipos de puentes a través de la metodología BIM, se concluye que la utilización de Dynamo se logra el 48% de eficiencia en los procesos de gestión de datos.

➤ **11vo antecedente:**

(Xiaorui Xue, 2021), con su investigación de “Generación semiautomática de reglas lógicas para información tabular en códigos de construcción para respaldar la verificación automatizada de cumplimiento del código” indicaron que a través de su investigación se ha desarrollado la

automatización completa de la verificación del cumplimiento de códigos o normas de la construcción en el país de origen de esta investigación a través de la programación de algoritmos, la metodología empleada sigue la secuencia en recaudar los códigos de construcción y convertirlas en reglas lógicas para formar una base de datos a través de la programación, luego la recaudación de información de la construcción y finalmente la comprobación de los códigos de construcción, en los resultados se observó que el algoritmo de generación de reglas desarrolló correctamente los códigos y reglas que representaron con éxito la verificación de estos códigos, se concluye que la utilización de Dynamo se logra el 32% de eficiencia para la obtención de valores booleanos que cumplen con las normas establecidas.

## 2.2. **Bases Teóricas - Científicas**

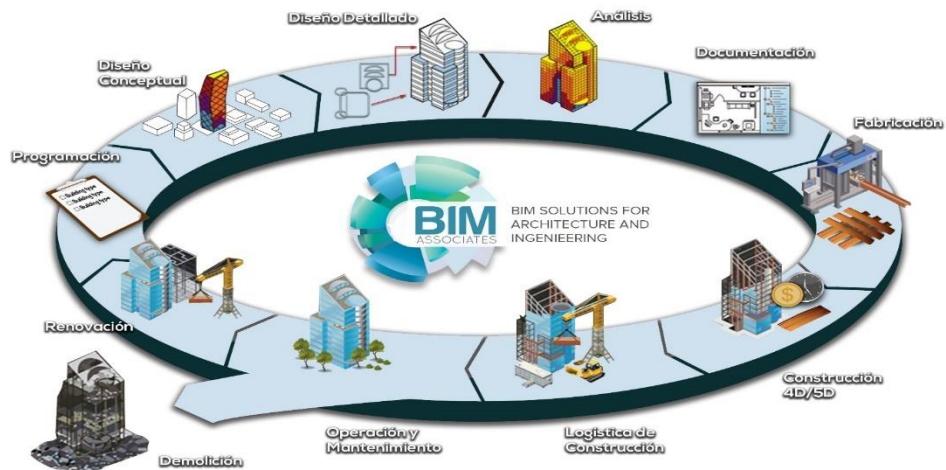
### 2.2.1. **Building Information Modeling (BIM):**

#### *¿Qué es BIM?*

Metodología de la construcción que hace uso de distintas herramientas tecnológicas e informáticas con el cual se elaborará un modelo de la edificación con toda la información que ésta requiera para su construcción, operación y mantenimiento, se utiliza a los elementos constructivos que cuentan con un significado y una función a los cuáles se puede incrementar información y tener un modelo mucho más preciso de la construcción (Smarsh, 2018).

De esto podemos concluir que BIM es una metodología que nos permite la integración de toda la vida útil de un proyecto, gestionarla y analizarla con una mayor eficiencia durante el ciclo de toda la vida útil del proyecto.

**Figura N°1: Ciclo de vida de un proyecto según el modelo BIM**



**Nota.** Estas etapas de la construcción se agrupan en sub etapas las cuales son: Diseño, construcción y operación.

**Fuente:** Innova Engineering group. Building Information Modeling (BIM)

De esta manera se permite la integración entre los sistemas que en conjunto completan el proyecto, entre ellas tenemos: Estructuras, arquitectura, estudio, instalaciones, presupuesto y cronogramas entre otras, y que a su vez también existe la coordinación entre todos estos componentes logrando un trabajo colaborativo en todo el ciclo de vida del proyecto, esto nos permitirá tener toda la información adecuada y actualizada en tiempo real.

### **Objetivos del BIM**

La metodología BIM según “la guía de usuarios BIM” del traducido al español del capítulo Building SMART, plantea algunos objetivos generales de esta metodología a seguir, las cuales son:

- ❖ Brindar una mejor toma de decisiones para el proyecto.
- ❖ Tener claro soluciones de diseño.
- ❖ Tener un análisis más detallado de los procesos en toda la fase de construcción.

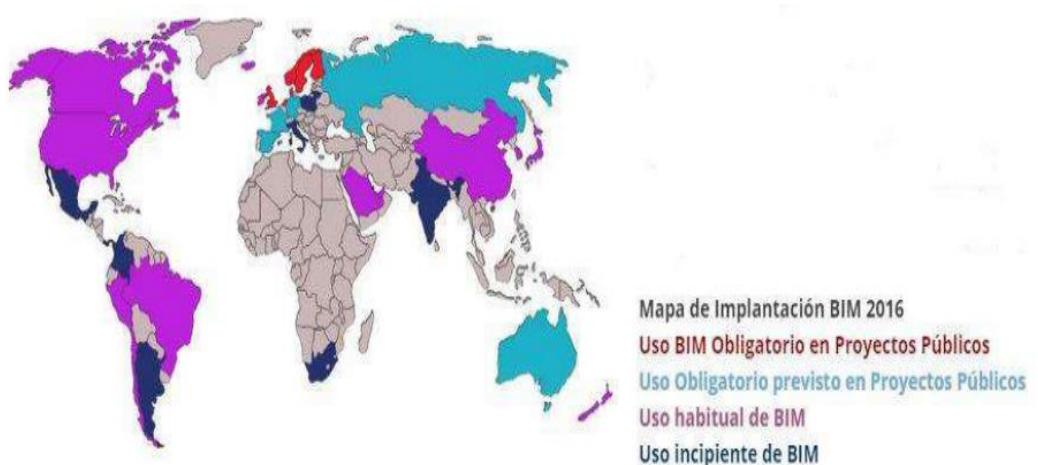
- ❖ Mejorar la seguridad en todas las fases de construcción.
- ❖ Brindar soporte y garantía en cuanto los presupuestos del proyecto.
- ❖ Tener una mejor gestión de los procesos de construcción, operación y mantenimiento del proyecto.

#### ***Reglamentos en la implementación de BIM***

El 26 de febrero en el año 2014, en el Parlamento Europeo se redactó la Directiva que obliga a los proyectos de construcción civil públicos o pertenecientes al estado se elaboren bajo la metodología BIM, en el apartado número 4 de su artículo 22 indica lo siguiente: “Para contratos públicos de obra y concursos de proyectos, los Estados miembros podrán exigir el uso de herramientas electrónicas específicas, como herramientas de diseño electrónico de edificios o herramientas similares”.

Este punto de comienzo fue un gran acontecimiento para poder dar un paso adelante respecto a la implementación y la adopción de BIM, esto tendría resultados positivos para los financiamientos públicos reduciendo costos, así mismo se desarrollaría un aumento en la competitividad dentro de la Unión Europea en los requerimientos de contratos a nivel internacional en la construcción (Smarsh, 2018).

***Figura N°2: Mapa de Implementación de BIM a nivel mundial en el 2016***



*Nota. Implementación de BIM en distintos países del mundo con la descripción del uso u obligatoriedad por cada zona*

*Fuente: Implementación BIM en nuestro entorno SS(BIM) 2016.*

### ***Implementación de BIM en el Perú***

El ministerio de economía y finanzas impuso en el 2023 una guía nacional del Plan BIM Perú que define una estrategia a nivel nacional para la implementación gradual del modelado de información de construcción (BIM) en las etapas del Ciclo de Inversión de entidades y empresas del sector público, en cooperación con el sector privado. Su finalidad es optimizar la calidad y eficiencia de las inversiones hasta 2030, garantizando una ejecución coordinada en el marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones.

### ***Dimensiones del BIM***

Estas dimensiones nos van a servir para clasificar los tipos de datos que se van a integrar al proyecto, para ver el vínculo que traen entre estas y lo que representan para el modelo de información en una construcción civil. Cada dimensión incluye una base de datos de una misma naturaleza, por ejemplo, si se añaden datos sobre el tiempo de la construcción, el proyecto va a adquirir una nueva dimensión respecto al tiempo o conocida como 4D, esto nos indica que a medida que se añade un nuevo tipo de información se añade una nueva dimensión (Smarsh, 2018).

*Figura N°3: Escala de Dimensiones de la Metodología BIM*



*Nota. Gráfico con las dimensiones y datos requeridos por cada una de ellas.*

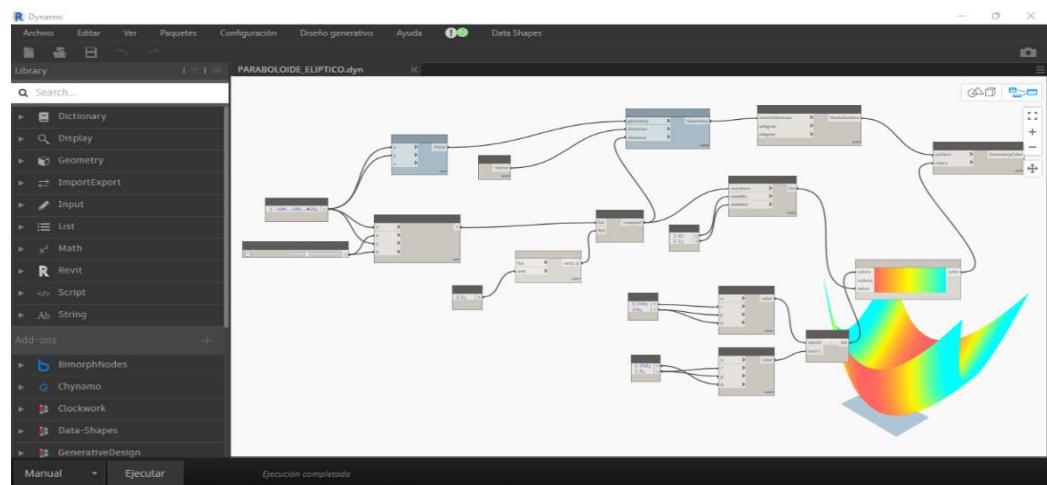
*Fuente: Behance (2019).*

### 2.2.2. **Dynamo**

#### *¿Qué es Dynamo?*

Dynamo es un software de programación gráfica de código abierto, que sirve como herramienta de programación visual la cual está a disposición de uso tanto para desarrolladores de programación o personas ligadas al mundo de la construcción no programadores, se encarga de proporcionar la capacidad de establecer secuencias del comportamiento, definir elementos personalizados de lógica; de los comandos utilizando distintos lenguajes de programación visual y textuales. Este programa nos ayuda hacer la programación visual en el programa de Revit, que nos permite modificar y gestionar los datos de los elementos así mismo crear elementos complejos a través de relaciones o algoritmos (Autodesk Dynamo Studio, 2017).

**Figura N°4: Entorno de la extensión Dynamo Core 2.10.1.4002**



**Nota:** Visualización de la interfaz de Dynamo, secuencia, conectores y nodos respectivos

**Fuente:** Elaboración Propia

La empresa Autodesk lo define como un software de “Programación gráfica de código abierto para diseño” que se creó en el año 2016 como un plugin y en 2017 dentro de la pestaña de gestionar ya que es un software que permite gestionar modelos, informativos y parámetros (Autodesk Dynamo Studio, 2017).

### **Aplicaciones y usos de Dynamo**

Con el software de Dynamo se puede lograr:

- ✚ Automatizar procesos de creación de elementos en sólido en función a datos paramétricos.
- ✚ Automatizar procesos de cálculo de valores de los elementos puestos en el entorno de trabajo.
- ✚ Buscar eficiencia en trabajos repetitivos, mitigando errores humanos
- ✚ Relacionar datos de información entre otros programas del rubro
- ✚ Configurar parámetros
- ✚ Buscar innovadoras formas de poder trabajar en la metodología BIM
- ✚ Diseños complejos a modelar

## *Arranque de Dynamo*

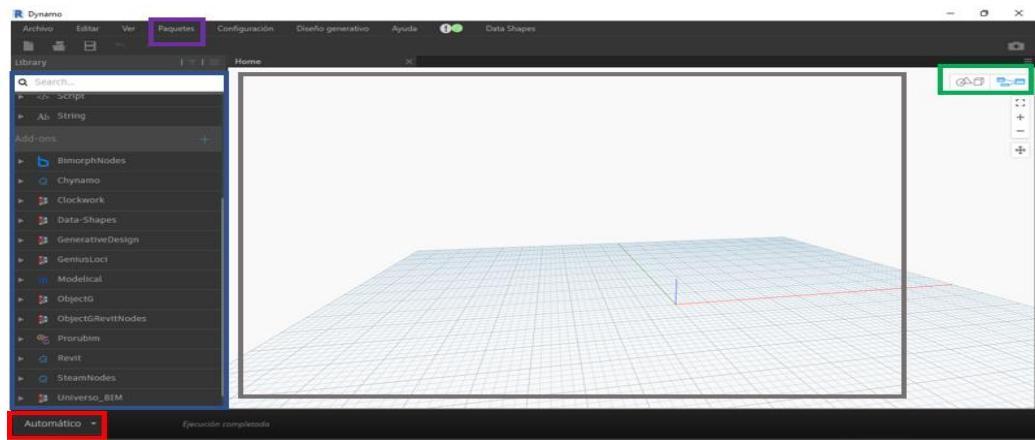
Para poder entrar en el entorno de Dynamo se puede acceder desde la pestaña gestionar en la parte superior del interfaz de Revit, así mismo deberá estar abierto un proyecto para que esto sea posible.

## *Interfaz de usuaria de Dynamo*

El entorno de Dynamo se divide en cinco secciones:

- **Menú:** Configuración para la gestión de datos y archivos almacenados
- **Barra de Herramientas:** En esta área se encuentran los botones de Nuevo, Abrir en formato “. dyn” o “. dyf, Guardar, deshacer, Rehacer y Exportar imagen a formato PNG.
- **Biblioteca:** Sección donde se encuentran los nodos clasificados por categoría y subcategoría de función a realizar, se encuentran los botones de crear, consulta y acciones. En este apartado se pueden encontrar los nodos ya sean personalizados o que viene por defecto.
- **Espacio de trabajo:** Entorno donde se desarrollan los algoritmos o la programación visual.
- **Ejecutar:** Sirve para poder ejecutar los nodos diseñados ya sea de forma manual o automática esta última realizar las acciones de forma automatizada siendo la menos recomendable ya que utiliza el procesador grafico del equipo continuamente.

**Figura N°5: Espacios de trabajo en el entorno de Dynamo**



Nota: Marcado de color azul: selección de nodo, color rojo: Automático / Manual, color verde: Vista 3D preliminar y color gris: El espacio de trabajo.

**Fuente:** Elaboración Propia

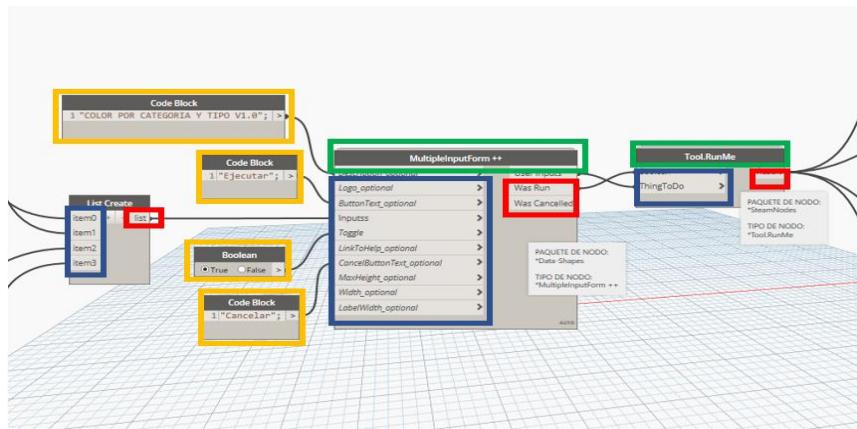
### **Elementos de Dynamo**

#### **Nodos**

Vendrían ser los elementos principales en el entorno de Dynamo, tiene la función de realizar una acción sobre un modelo virtual realizado, estos a su vez crean, modifican o extraen información. Cada nodo tiene que ejecutar un proceso de acción de forma individual ya sea de forma compleja o no. La agrupación de nodos a través de conectores, hacen que se convierte en un flujo de trabajo, obedeciendo al interprete o ejecutado. Los nodos gestionan información y actúan en base a la organización que se personaliza:

- ❖ Nodo: Realiza una acción, marcado de color verde en la Figura BB
- ❖ Input: Entrada de información, se visualiza con el color azul Figura BB
- ❖ Output: Salida de información, se visualiza con el color Rojo BB
- ❖ Si se señala con el cursor en los inputs o ya sea en el output, el programa describe el tipo de valor que se requiera, en el caso de los nodos de debe señalar para posteriormente indicarle una función que deba actuar.

**Figura N°6** Visualización de nodos del software Dynamo



Nota: Se puede ver la demarcación de las entradas y salidas de datos, así como el nodo general.

**Fuente:** Elaboración propia

Si un nodo no se enlaza con otro nodo este se sobre de color gris en la parte superior, si este nodo funciona y tiene un resultado, entonces el color será negro con excepciones si se trata de un nodo básico como por ejemplo el nodo “Point. By Coordinates” por la ausencia de valores el resultado final se interpreta como (0,0,0) como punto de posición.

Así mismo el color será naranja cuando el enlace esta con valores erróneos la cual muestra un aviso de advertencia y de que está mal, de color rojo cuando el nodo no se encuentra en la base de datos por lo tanto se requiere reinstalar o descargar. También es posible modificar la programación por defecto de los nodos personalizados al deseo del usuario. (Autodesk Dynamo Studio, 2017)

### Alambres

Son elementos que se enlazan en los nodos para si poder realizar un flujo de trabajo o de datos, se deben conectar en un punto de entrada y un puerto de salida. (Autodesk Dynamo Studio, 2017)

### ***Datos y flujos de Dynamo***

Toda información dentro de un modelado contendrá información que nos ayudara en diferentes áreas constructivas, pero estas informaciones deben estar organizadas ya que el modelo es la primera fase o parte base para poder hacer el proceso de automatización posteriormente.

Beneficios por el proceso de automatización:

- ✓ Evita los errores humanos
- ✓ Acceso a datos no accesibles en el software
- ✓ Ahorro en el tiempo de ejecución del modelado

Los tipos de programación son:

- ❖ **Programación gráfica:** Se utiliza formas o llamados nodos para poder visualizar las secuencias, usualmente se parte de paquetes de nodos preestablecidos así mismo podríamos modificar o alterar los códigos default como deseamos. Los softwares que se asimilan en el campo especificado es el Rhinoceros, Grasshopper y Dynamo, todos ellos funcionan a través de conectores llamados cables gráficos (Dynamo Básico, 2017).
- ❖ **Programación de código:** Se usa solo letras o escrituras de código como lenguaje de programación, el entorno solo es un block de notas lo que hace que sea más complicado al momento de programar. Los softwares que se asimilan entre sí es el Python, Visual Basic, Ruby y C# todos ellos con lenguaje de programación a base de textos (Dynamo Básico, 2017).

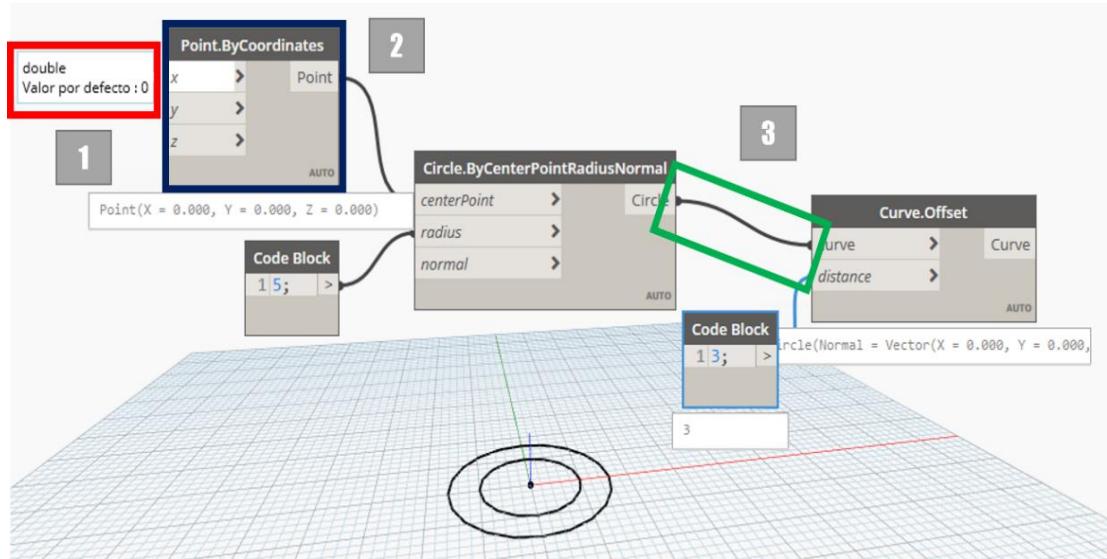
Los datos que fluirán a través de los conectores y llegan a los nodos respectivos, pueden ser origen cualitativo o cuantitativo y estos podrían ser:

- ✓ Numéricos
- ✓ Características

- ✓ Booleanos (Verdadero / Falso)
- ✓ Listas
- ✓ Solido

Todos los nodos necesariamente necesitan datos de entrada para poder ejecutar una acción, pero si no existe el resultado será nulo o lo veríamos como “Null” dentro el interfaz de Dynamo. (Autodesk Dynamo Studio, 2017)

*Figura N°7: Flujo de datos con información existente en Dynamo*

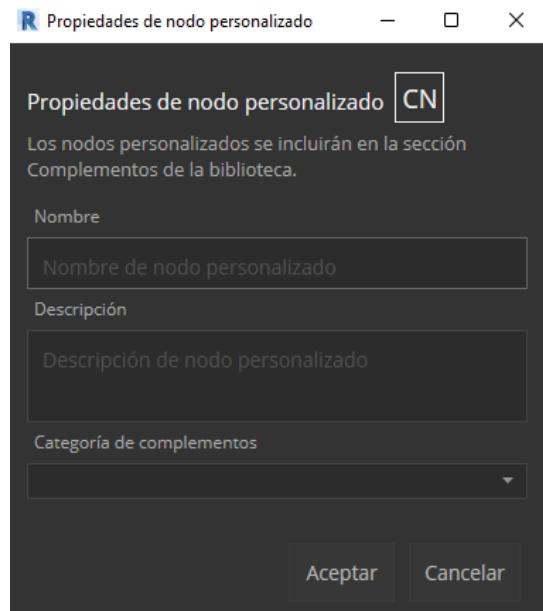


*Fuente: Elaboración Propia*

*Nodo personalizado o custom nodes*

La base de datos de Dynamo ya cuenta con nodos por default y originales que tiene las acciones básicas para realizar, los nodos personalizados nos van a permitir crear agrupación de algoritmos que nos ayudaran a ejecutar una acción especial que el programador y modelador necesitan al momento de realizar un proyecto en específico, estos nodos pueden ser publicados y compartidos. Para poder crear un custom nodes se deberá indicar Dynamo, entrar en el botón de nodos personalizados, llenar los datos correspondientes como la descripción, la biblioteca de ubicación y la categoría (Autodesk Dynamo Studio, 2017).

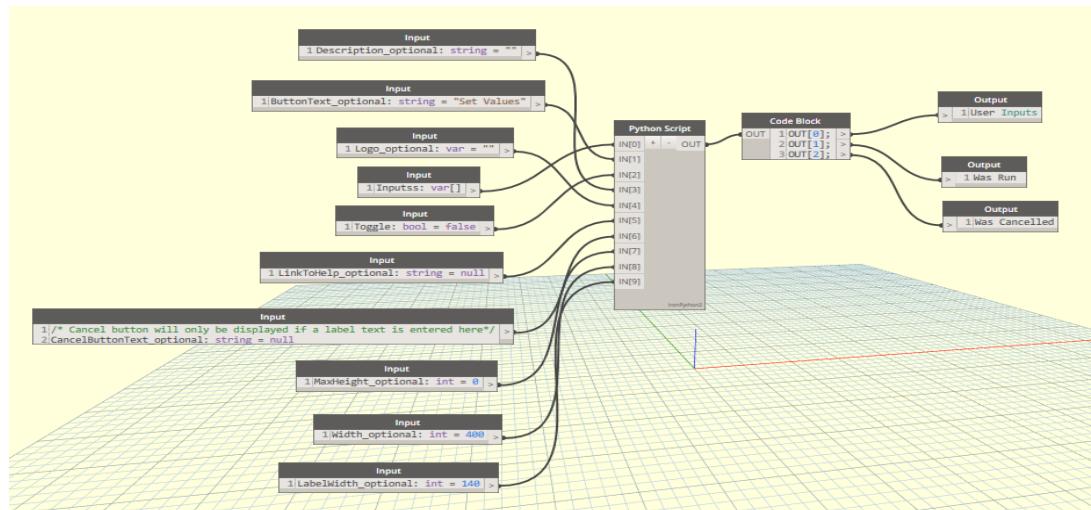
**Figura N°8: Propiedades del nodo personalizado**



**Fuente:** Elaboración Propia

Los custom nodes se guardan en el formato de “.dyf” como extensión, para que se agrega de manera automática a proyectos posteriores se tendrá que compartir de manera pública y así quedando guardado en la base de datos de Dynamo, lo encontraremos en la biblioteca.

**Figura N°9: Edición de nodo personalizado**



*Nota: Entorno de edición de un nodo personalizado, como se observa que hay una serie de programación dentro de un solo nodo.*

**Fuente:** Elaboración Propia

### ***Paquetes o Packages***

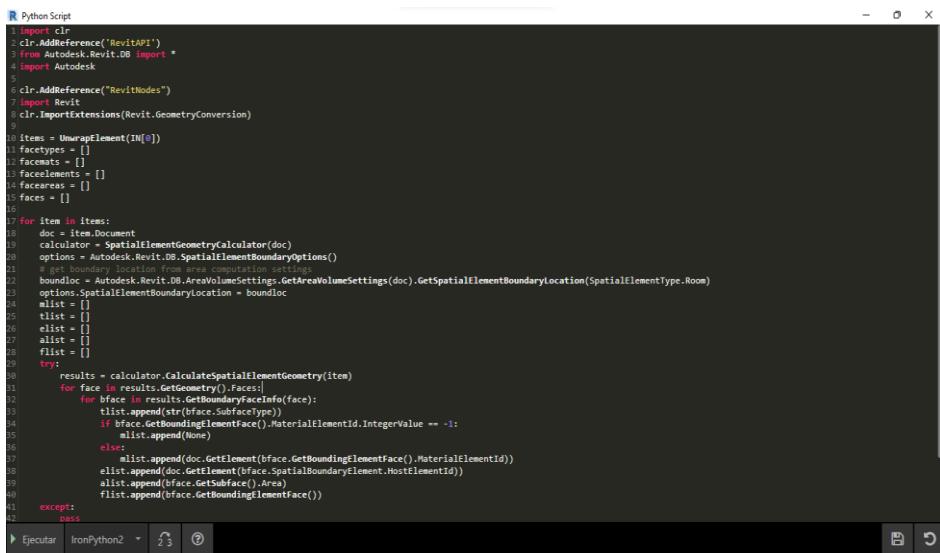
Los paquetes de nodos son una lista o colección de nodos personalizados que nos ayudarán a poder resolver problemas particulares y servirán de complemento para trabajos complejos, estos paquetes son realizados por usuarios terceros (Autodesk Dynamo Studio, 2017).

Estos paquetes se pueden instalar de forma rápida y directa en la barra de herramientas, filtrar por nombre y año. También se pueden descargar de los paquetes de la página web: [Dynamopackages.com](http://Dynamopackages.com)

Los custom nodes más convencionales y útiles son:

- Lunch box
- Archi-lab
- Clockwork
- Data -Shapes
- GeniusLoci
- Modelical
- ObjectG
- Universo\_BIM
- Prorubim
- SteamNodes
- BimorphNodes
- Chynamo

**Figura N°10: Códigos Escritos en Python – Creación de habitaciones**



```

1 import clr
2 clr.AddReference('RevitAPI')
3 from Autodesk.Revit.DB import *
4 import Autodesk
5
6 clr.AddReference("RevitNodes")
7 import Revit
8 clr.ImportExtensions(Revit.GeometryConversion)
9
10 items = UnwrapElement(IN[0])
11 facetypes = []
12 facets = []
13 faceelements = []
14 faceareas = []
15 faces = []
16
17 for item in items:
18     doc = item.Document
19     calculator = SpatialElementGeometryCalculator(doc)
20     options = Autodesk.Revit.DB.SpatialElementBoundaryOptions()
21     # get boundary location from area computation settings
22     boundloc = Autodesk.Revit.DB.AreaVolumeSettings.GetAreaVolumeSettings(doc).GetSpatialElementBoundaryLocation(SpatialElementType.Room)
23     options.SpatialElementBoundaryLocation = boundloc
24     mlist = []
25     tlist = []
26     elist = []
27     alist = []
28     flist = []
29     try:
30         results = calculator.CalculateSpatialElementGeometry(item)
31         for face in results.GetGeometry().Faces:
32             for bface in results.GetBoundaryFaceInfo(face):
33                 tlist.append(str(bface.SubfaceType))
34                 if bface.GetBoundingElementFace().MaterialElementId.IntegerValue == -1:
35                     mlist.append(None)
36                 else:
37                     mlist.append(doc.GetElement(bface.GetBoundingElementFace()).MaterialElementId)
38             elist.append(doc.GetElement(bface.SpatialBoundaryElement.HostElementId))
39             alist.append(bface.GetSubFace().Areas)
40             flist.append(bface.GetBoundingElementFace())
41     except:
42         pass

```

*Fuente: Elaboración Propia*

### 2.2.3. Norma Técnica de metrados

*Partidas correspondientes a metrados para obras en la especialidad de estructuras*

Es La norma técnica de metrados vendría ser un documento indispensable en obras de edificaciones y también para la elaboración de expedientes técnicos, el objetivo de la norma es proponer criterios para poder cuantificar las partidas de gran relevancia que se realiza en las actividades del sector de construcción, así mismo este incluye lineamientos técnicos orientados por expertos. (Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas, 2010).

Las partidas vendrían ser servicios o actividades que forman parte del presupuesto de la obra, en tal sentido las partidas de puede ordenar de forma jerarquizada en:

- ❖ Partidas de primer grado o título, agrupan partidas con descripciones en comunes.
- ❖ Partidas de segundo grado o Partidas – Sub Titulo, conjunto de partidas genéricas que se pueden realizar o como no.

- ❖ Partidas de tercer grado o Partidas Básicas, partidas indispensables que se tiene que tener en cuenta.
- ❖ Partidas de cuarto orden, partidas en casos especiales si se requiere.

A continuación, las partidas correspondientes a metrados para obras en la especialidad de estructuras:

*Tabla N°1: Partidas en la especialidad de estructuras*

<b>ITEM</b>	<b>PARTIDAS</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>OE.2.1</b>	<b>Movimiento de tierras</b>	
<b>OE.2.1.1</b>	<b>Nivelación de terreno</b>	
OE.2.1.1.1	Nivelación.	m2
OE.2.1.1.2	Nivelado apisonado	m2
<b>OE.2.1.2</b>	<b>Excavaciones</b>	
OE.2.1.2.1	Excavaciones masivas	m3
OE.2.1.2.1	Excavaciones simples	m3
<b>OE.2.1.3</b>	<b>Cortes</b>	m3
<b>OE.2.1.4</b>	<b>Rellenos</b>	
OE.2.1.4.1	Relleno con material propio	m3
OE.2.1.4.2	Rellenos con material de préstamo	m3
<b>OE.2.1.5</b>	<b>Nivelación interior y apisonado</b>	m2
<b>OE.2.1.6</b>	<b>Eliminación de material excedente</b>	m3
<b>OE.2.1.7</b>	<b>Tablestacado o entibado</b>	
OE.2.1.7.1	Tablestacado para excavaciones, estructuras, pozos, cámaras subterráneas, etc.	m2
OE.2.1.7.2	Tablestacado para excavaciones de zanjas	m2
<b>OE.2.2</b>	<b>Obras de concreto simple</b>	
OE.2.2.1	Cimientos corridos	m3
<b>OE.2.2.2</b>	<b>Sub zapatas o falsa zapata</b>	
OE.2.2.2.1	Para el concreto	m3
OE.2.2.2.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.2.3	Solados	m2
<b>OE.2.2.4</b>	<b>Bases de concreto</b>	
OE.2.2.4.1	Para el concreto	m3
OE.2.2.4.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
<b>OE.2.2.5</b>	<b>Estructuras de sostenimiento de excavaciones</b>	
OE.2.2.5.1	Para el concreto	m3
OE.2.2.5.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
<b>OE.2.2.6</b>	<b>Sobrecimientos</b>	

OE.2.2.6.1	Para el concreto	m3
OE.2.2.6.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
<b>OE.2.2.7</b>	<b>Gradas</b>	
OE.2.2.7.1	Para el concreto	m3
OE.2.2.7.2	Para el encofrado y desencofrado en gradas	m2
<b>OE.2.2.8</b>	<b>Rampas</b>	
OE.2.2.8.1	Para el concreto e=m	m2
OE.2.2.8.2	Para el encofrado y desencofrado en rampas	m2
<b>OE.2.2.9</b>	<b>Falso piso</b>	m2
<b>OE.2.3</b>	<b>Obras de concreto armado</b>	
<b>OE.2.3.1</b>	<b>Cimientos reforzados</b>	
OE.2.3.1.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.1.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.1.3	Para la armadura de acero	Kg.
<b>OE.2.3.2</b>	<b>Zapatas</b>	
OE.2.3.2.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.2.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.2.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.3</b>	<b>Vigas de cimentación</b>	
OE.2.3.3.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.3.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.3.3	Para la armadura de acero	Kg.
<b>OE.2.3.4</b>	<b>Losas de cimentación</b>	
OE.2.3.4.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.4.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.4.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.5</b>	<b>Sobrecimientos reforzados</b>	
OE.2.3.5.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.5.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.5.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.6</b>	<b>Muros reforzados</b>	
<b>OE.2.3.6.1</b>	<b>Muros de contención</b>	
OE.2.3.6.1.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.6.1.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.6.1.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.6.2</b>	<b>Muros de concreto, tabiques de concreto y placas</b>	
OE.2.3.6.2.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.6.2.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.6.2.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.6.3</b>	<b>Pantallas, barandas y similares</b>	
OE.2.3.6.3.1	Para el concreto	m3

OE.2.3.6.3.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.6.3.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.7</b>	<b>Columnas</b>	
OE.2.3.7.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.7.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.7.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.8</b>	<b>Vigas</b>	
OE.2.3.8.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.8.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.8.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.9</b>	<b>Losas</b>	
<b>OE.2.3.9.1</b>	<b>Losas macizas</b>	
OE.2.3.9.1.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.9.1.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.9.1.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.9.2</b>	<b>Losas aligeradas convencionales</b>	
OE.2.3.9.2.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.9.2.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.9.2.3	Para la armadura de acero.	Kg.
OE.2.3.9.2.4	Para Ladrillos, Bloques Huecos o Elementos Livianos	Und.
<b>OE.2.3.9.3</b>	<b>Losas aligeradas con viguetas prefabricadas</b>	
OE.2.3.9.3.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.9.3.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.9.3.3	Para la armadura de acero.	Kg.
OE.2.3.9.3.4	Para Bovedillas.	Und.
OE.2.3.9.3.5	Para Viguetas Proporcionadas Por el Fabricante	m.
<b>OE.2.3.9.4</b>	<b>Losas nervadas</b>	
<b>OE.2.3.9.5</b>	<b>Losas cáscara</b>	
<b>OE.2.3.9.6</b>	<b>Losa hongo</b>	
<b>OE.2.3.9.7</b>	<b>Losas especiales</b>	
<b>OE.2.3.10</b>	<b>Escaleras</b>	
OE.2.3.10.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.10.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.10.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.11</b>	<b>Caja de ascensores y similares</b>	
OE.2.3.11.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.11.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.11.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.12</b>	<b>Cisternas subterráneas</b>	

OE.2.3.12.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.12.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.12.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.13</b>	<b>Tanques elevados</b>	
OE.2.3.13.1	Para el concreto	m3
OE.2.3.13.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.13.3	Para la armadura de acero.	Kg.
<b>OE.2.3.14</b>	<b>Pilotes</b>	
OE.2.3.14.1	Para los pilotes	Und./m.
<b>OE.2.3.15</b>	<b>Caissones</b>	
OE.2.3.15.1	Para concreto	Und.
OE.2.3.15.2	Para el encofrado y desencofrado	Und.
OE.2.3.15.3	Para armadura	Und.
<b>OE.2.3.16</b>	<b>Estructuras de concreto pretensado o postensado</b>	
<b>OE.2.3.16.1</b>	<b>Vigas</b>	
OE.2.3.16.1.1	Para concreto	m3
OE.2.3.16.1.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.16.1.3	Acero de Refuerzo Convencional	Kg.
OE.2.3.16.1.4	Proceso de Anclaje Y Refuerzo	Glb.
<b>OE.2.3.16.2</b>	<b>Losas</b>	
OE.2.3.16.2.1	Para concreto	m3
OE.2.3.16.2.2	Para el encofrado y desencofrado	m2
OE.2.3.16.2.3	Acero de Refuerzo Convencional	Kg.
OE.2.3.16.2.4	Proceso de Anclaje Y Refuerzo	Glb.
<b>OE.2.3.17</b>	<b>Estructuras prefabricadas</b>	Und.
<b>OE.2.4</b>	<b>Estructuras metálicas</b>	
<b>OE.2.4.1</b>	<b>Columnas o pilares</b>	
OE.2.4.1.1	Para armado	Und.
OE.2.4.1.2	Para montaje	Und.
<b>OE.2.4.2</b>	<b>Vigas</b>	
OE.2.4.2.1	Para armado	Und.
OE.2.4.2.2	Para montaje	Und.
<b>OE.2.4.3</b>	<b>Viguetas</b>	
OE.2.4.3.1	Para armado	Und.
OE.2.4.3.2	Para montaje	Und.
<b>OE.2.4.4</b>	<b>Tijerales y reticulados</b>	
OE.2.4.4.1	Para armado	Und.
OE.2.4.4.2	Para montaje	Und.
<b>OE.2.4.5</b>	<b>Correas</b>	
OE.2.4.5.1	Para armado	Und.
OE.2.4.5.2	Para montaje	Und.

<b>OE.2.4.6</b>	<b>Coberturas</b>	
OE.2.4.6.1	Con planchas corrugadas galvanizadas	m2
OE.2.4.6.2	Con planchas corrugadas de fibra-cemento.	m2
OE.2.4.6.3	Con planchas corrugadas de aluminio.	m2
OE.2.4.6.4	Con planchas corrugadas plásticas.	m2
OE.2.4.6.5	Con tejas.	m2
OE.2.4.6.6	Con ladrillos de vidrio.	m2
OE.2.4.6.7	Con vidrio.	m2
OE.2.4.7	Elementos para aguas pluviales	m2
OE.2.4.7.1	Para cumbreiras	m.
OE.2.4.7.2	A canaletas	M
OE.2.4.7.3	Para bajantes	M
<b>OE.2.5</b>	<b>Estructura de madera</b>	
OE.2.5.1	Columnas o pilares	Und.
OE.2.5.2	Vigas	Und.
OE.2.5.3	Tijerales y reticulados	Und.
OE.2.5.4	Correas	m2/Und.
<b>OE.2.5.5</b>	<b>Coberturas</b>	
OE.2.5.5.1	Con planchas corrugadas galvanizadas.	m2
OE.2.5.5.2	Con planchas corrugadas de fibra-cemento.	m2
OE.2.5.5.3	Con planchas corrugadas de aluminio.	m2
OE.2.5.5.4	Con planchas corrugadas plásticas.	m2
OE.2.5.5.5	Con tejas.	m2
OE.2.5.5.6	Con madera.	m2
OE.2.5.5.7	Con diversas planchas lisas.	m2
OE.2.5.6	Pilotes de madera	Und.
<b>OE.2.6</b>	<b>Varios</b>	
OE.2.6.1	Juntas	m.

*Fuente: (Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilidades Urbanas, 2010).*

### 2.3. Definición de términos básicos

#### Complejidad de algoritmos:

La complejidad de los algoritmos expresa el grado de detalle y la cantidad de operaciones que requiere un script para ejecutar una tarea automatizada. En programación visual, como Dynamo, se mide por el número de nodos y conexiones empleados, lo cual influye tanto en la

eficiencia como en la posibilidad de errores si el diseño no está optimizado (Turmo et al., 2021).

 **Eficiencia algorítmica:**

La eficiencia algorítmica mide el rendimiento de un algoritmo en relación con los recursos que utiliza. En Dynamo y BIM, se traduce en el tiempo ahorrado respecto al número de nodos empleados en un script (Cormen et al., 2022).

 **Eficiencia por nodo:**

Es la relación entre el tiempo ahorrado y la cantidad de nodos usados en un script, indicando la optimización de la programación visual en BIM (Cormen et al., 2022).

 **Flujo de Trabajo:**

Secuencia de procesos por lo cual se introduce parte de un trabajo desde su punto de inicio hasta su finalización. (Extracción y Edición de datos con Dynamo y Hoja de Cálculo, 2018).

 **Índice de automatización por Scripts:**

Es la proporción de tareas automatizadas respecto al número de scripts empleados, reflejando la eficacia de Dynamo para reducir procesos manuales (Groover, 2020).

 **Índice de complejidad del Proyecto:**

Es una medida que evalúa la dificultad de una obra según la cantidad de actividades, sus interdependencias y los recursos requeridos, útil en BIM para estimar el grado de automatización necesario (Lessard et al., 2014).

#### **Modelado 3D en Revit:**

El modelado 3D en Revit es la representación digital paramétrica de los elementos de una edificación, donde cada componente integra información geométrica y constructiva. Esto permite coordinar el diseño y extraer metrados de forma precisa y automatizada (Eastman et al., 2018).

#### **Nodo:**

Son objetos individuales que se enlazan a través de la programación visual con la finalidad de realizar una acción u operación. (Autodesk Dynamo Studio, 2017).

#### **Nivel de Automatización:**

El nivel de automatización indica cuánto de un proceso manual es reemplazado por operaciones digitales. En Dynamo y BIM, se expresa como el porcentaje de partidas generadas automáticamente respecto al total (Groover, 2020).

#### **Packages:**

Colección de nodos personalizados creados por nodos de defecto, desarrollados por terceros. (Autodesk Dynamo Studio, 2017).

#### **Productividad:**

La productividad es la relación entre los recursos empleados y los resultados alcanzados. En BIM y Dynamo, se refleja en el trabajo ejecutado o el tiempo ahorrado frente al método tradicional (Harris & McCaffer, 2013).

#### **Porcentaje de reducción de tiempo:**

Es el indicador que mide la eficiencia lograda al comparar el tiempo de un proceso manual con el obtenido mediante herramientas automatizadas como Dynamo (Groover, 2020)

#### **Programación visual:**

La programación visual es un enfoque en el que la creación de algoritmos se realiza mediante bloques gráficos o nodos interconectados en lugar de escribir líneas de código textual. (Dynamo Primer, 2022).

#### **Script:**

Son secuencias de códigos abiertos o cerrados que tiene como objetivo realizar una función dentro de un sistema. (Extracción y Edición de datos con Dynamo y Hoja de Cálculo, 2018).

#### **Script por tarea:**

Es la relación entre los scripts utilizados y las actividades automatizadas, lo que permite medir la eficiencia de la programación visual en BIM (Groover, 2020).

#### **Tiempo de programación:**

Es el periodo dedicado a desarrollar y ajustar un script, reflejando el esfuerzo invertido en configurar nodos para automatizar tareas en BIM con Dynamo (Turmo et al., 2021).

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

#### **Hipótesis alterna (H<sub>i</sub>):**

Existe una relación entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio César Vallejo N°34047, en el distrito de Yanacancha.

### **Hipótesis nula (H0):**

No existe relación significativa entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio César Vallejo N°34047, en el distrito de Yanacancha.

#### **2.4.2. Hipótesis específicas:**

**a. (Hi):** Existe una relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales.

**(H0):** No existe una relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales.

**b. (Hi):** Existe una relación entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales.

**(H0):** No existe una relación entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales.

**c. (Hi):** Existe una relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales.

**(H0):** No existe una relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable independiente**

**Variable N° 1:** Dynamo a través de BIM.

### **2.5.2. Variable dependiente**

**Variable N° 2:** Automatización de Metrados estructurales.

## 2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

*Tabla N°2: Operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Variable independiente: (Variable N° 1)</b>  Dynamo a través de BIM	Es un software de programación visual que nos permite programar en un entorno de lenguaje visual o algoritmos con paquetes de los programas de Revit y Navisworks. (Kensek, 2014).	Usando como lenguaje de programación visual para la creación de una serie de algoritmos, para así poder luego automatizar procesos que se tienen según la necesidad del usuario en el entorno de Revit.	<b>D1:</b> Programación Visual.  <b>D2:</b> Complejidad de algoritmos.  <b>D3:</b> Modelado 3D en Revit.	<b>I1:</b> Índice de complejidad del Proyecto  <b>I2:</b> Tiempo de programación.  <b>I3:</b> Índice de automatización por Scripts.
<b>Variable dependiente: (Variable N° 2)</b>  Automatización de Metrados estructurales	Es el proceso durante la etapa de diseño de un proyecto de construcción lo que hace que aumente su producción y fatiga los errores a un 90% en la gestión de la información. (Franco de Souza, 2017).	Usando la automatización para el proceso de cuantificación automática de metrados a través de un add-in y la creación de planillas de forma automática y confiable con todo los parámetros, dimensiones y características personalizados por el usuario.	<b>D1:</b> Nivel de Automatización.  <b>D2:</b> Eficiencia algorítmica.  <b>D3:</b> Productividad.	<b>I1:</b> Script por tarea.  <b>I2:</b> Eficiencia por nodo.  <b>I3:</b> Porcentaje de reducción de tiempo.

*Fuente: Elaboración propia.*

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada ya que para llegar al objetivo se va a emplear distintas estrategias de desarrollo al realizar la programación de algoritmos, para esto será necesario nutrir de teoría el uso y manejo de Dynamo junto con Revit para que de esta manera se puedan generar conocimientos y estos ser empleados para emplear estrategias que ayuden al desarrollo de la investigación. (Hernández-Sampieri, 2018).

#### **3.2. Nivel de investigación**

Esta investigación se desarrollará bajo el nivel de investigación relacional en todo el proceso que conlleva el desarrollo de esta misma, primeramente, debido a que se busca medir la relación entre las dos variables dentro del ámbito de la construcción dentro de la etapa de formulación de un proyecto, incluido a esto se tomará la búsqueda de información que nos ayudará en toda la investigación, esto explicado en el desarrollo y programación de la Tesis. (Hernández-Sampieri, 2018)

### 3.3. **Métodos de investigación**

Se utilizó el método sintético como enfoque general, ya que facilitó el desarrollo de los objetivos sin inconvenientes, dando como inicio de la investigación se comienza con la elección de un proyecto simple, en este caso ya determinado a través del muestreo una institución educativa ubicada en la ciudad de Cerro de Pasco dicha construcción culminó el 2019, y recolectar la información de dicho proyecto como es el expediente técnico, planos, presupuesto, cronograma, especificaciones técnicas y demás, incluido el modelo 3D de la edificación.

El enfoque de Investigación es cuantitativo ya que para poder aclarar todas las dudas presentes sobre el problema de investigación junto a las hipótesis se procede a la recolección el análisis de los datos (Hernández-Sampieri, 2018), en este caso la información recaudada se apreciará en los documentos para la construcción del proyecto mencionados en el párrafo anterior.

Con la información obtenida y el modelado 3D en Revit ya completos se empezará a realizar la programación en Dynamo y el desarrollo de algoritmos para el proceso de automatizar metrados, para esto se ha desarrollado flujos de trabajo que nos ayudarán en el proceso del desarrollo de los algoritmos visto en los anexos posteriormente.

Finalmente se realizará la obtención automatizada de la cuantificación de los metrados en partidas estructurales del proyecto designado la cual someteremos a una comparación con los valores del metrado real realizado por nosotros mismos y abalados juicio de expertos, así mismo la variación que esta pudo determinar en cuanto a costo y una estimación de tiempo, la precisión de metrados, y la eficiencia y productividad.

### 3.4. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es no experimental, ya que no hace uso de distintas muestras a las que debemos someter a distintas pruebas, a pesar de tener parámetros e indicadores para llegar a los resultados esto se realizará con un solo elemento o muestra de investigación la cual se generará a través de los resultados después de la programación con Dynamo. (Hernández-Sampieri, 2018).

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

La población a estudiar es todo los metrados de todas las partidas estructurales de los distintos módulos del expediente Técnico del Colegio Nacional Cesar Vallejo 34047 ubicado en la Av. Columna Pasco – Yanacancha, lo cual se identificó 39 partidas estructurales de los tres módulos en análisis. Ya que al tratarse de una institución educativa cuyo año de construcción finalizó el 2019 se tiene información reciente y actualizada sobre el expediente, planos y metrados de este proyecto.

**Figura N°11: Población: Ambientes de la I.E. Cesar Vallejo N°34047**



**Nota.** Los módulos se encuentran en los interiores de los cuadriláteros representados por M3, M4 y M5 respectivamente señalando el orden y la identificación de estas que contienen partidas estructurales.

**Fuente:** Adaptado Google Maps.

### 3.5.2. Muestra:

El cálculo de la muestra se dio en base a la siguiente formula del cálculo población finita:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra.

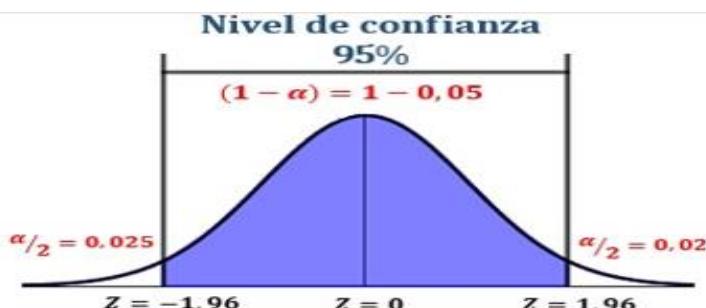
N= Tamaño de la población o universo.

Z= Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza.

e = Error de estimación máximo aceptado.

P = Probabilidad de que ocurra el universo.

Para el cálculo se tomó los 39 datos de todas las partidas estructurales de todos los 3 módulos (M3, M4 y M5) como población. El error de estimación máximo aceptado le estoy tomando  $\pm 4\%$  ósea prácticamente es 8%. El parámetro Z depende del nivel de confianza que le estimas a tu investigación lo cual será un 95%.



<b>Nivel de confianza Z (1-<math>\alpha</math>)</b>	90%	95%	95,50%	99%
<b>Coeficiente de confianza</b>	1,64	1,96	2	2,58

Y el valor P eso depende de la probabilidad de que va ocurrir como nosotros no tenemos nada seguro se coloca 50% la probabilidad que esto ocurra y el 50% que no ocurra.

$$n = \frac{39 * 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{(39 - 1) * 0.08^2 + 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}$$

$$n = 31 \text{ Partidas estructurales}$$

La muestra estuvo conformada por todos los metrados correspondientes a las partidas estructurales de los módulos M3, M4 y M5, excluyendo únicamente aquellas partidas preliminares de carácter general. En total, se evaluaron 31 partidas estructurales pertenecientes a la I.E. César Vallejo, ubicada en la ciudad de Cerro de Pasco. La selección de esta muestra fue de tipo intencional y por conveniencia, debido a que todos los ambientes de los módulos analizados incorporan elementos estructurales indispensables para el desarrollo de los metrados requeridos en la investigación.

**Figura N°12: Muestra: Pabellón N° 1 de la I.E. Cesar Vallejo N° 34047**



**Fuente:** Adaptado Google Maps.

### **3.5.3. Muestreo:**

Para poder seleccionar la muestra se observó que esta debería cumplir y contener dentro de sí a los parámetros necesarios de medición para realizar la cuantificación en el proceso de metrados, seguidamente verificar que partidas estructurales correspondientes a la población cumplen con estos requisitos, de esta manera se optó una selección intencional en base a los criterios ya mencionados y adaptándose al tipo de muestreo **NO PROBABILÍSTICO** por **CONVENIENCIA.**

## **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La investigación empleó como técnica central la revisión documental, debido a que la fuente primaria de información fue el expediente técnico original del proyecto educativo estudiado. A partir de este expediente se extrajeron los planos, metrados, presupuesto y especificaciones estructurales necesarios para reconstruir el modelo BIM y generar las rutinas de automatización en Dynamo. De manera complementaria, se aplicó la técnica de corrección de metrados independiente, mediante la cual se recalcularon manualmente las cantidades estructurales con el fin de obtener un segundo conjunto de datos verificables y comparables con los resultados automatizados. Para la recopilación y organización de la información se utilizaron fichas de registro técnico, diseñadas para documentar parámetros geométricos y cuantitativos tanto del expediente como de la corrección de metrados independiente. Asimismo, se emplearon cuestionarios de evaluación por juicio de expertos, donde profesionales con experiencia en estructuras analizaron la coherencia entre los metrados originales, los recalculados y los generados por Dynamo. Estos instrumentos permitieron asegurar la confiabilidad de los datos y establecer una base metodológica sólida

para el contraste entre el proceso manual y la automatización dentro del entorno BIM.

### 3.6.1. Equipo informativo

Para el desarrollo de los objetivos propuestos en el proyecto de investigación, se utilizará un equipo tecnológico e informativo, así mismo se utilizan dos softwares informáticos relacionados a la tecnología BIM para el desarrollo del trabajo de investigación.

*Figura N°13: Ordenador HP ProBook Utilizado en el desarrollo del proyecto*



*Fuente: (HP Componentes, 2020)*

Con el propósito de disponer con un buen equipo informático y condiciones requeridas para los trabajos que se realizan en la metodología BIM de opto por utilizar un ordenador portátil HP - ProBook 450 G8 cuyas especificaciones son las siguientes:

- ✓ Procesador: Intel Core i7
- ✓ Controlador gráfico: GeForce RTX 2060, GDDR6 6GB
- ✓ Memoria RAM: DDR IV 16GB\*2 (2666MHz)
- ✓ Almacenamiento 1TB NVMe PCIe Gen3x4 SSD
- ✓ Pantalla 15.6" FHD (1920x1080), IPS-Level gaming panel120Hz Thin Bezel
- ✓ Cámara de portátil HD type (30fps@720p)
- ✓ Conectividad Gb LAN Intel Wireless-AC 9560 (2\*2 a/c) + Bluetooth v5

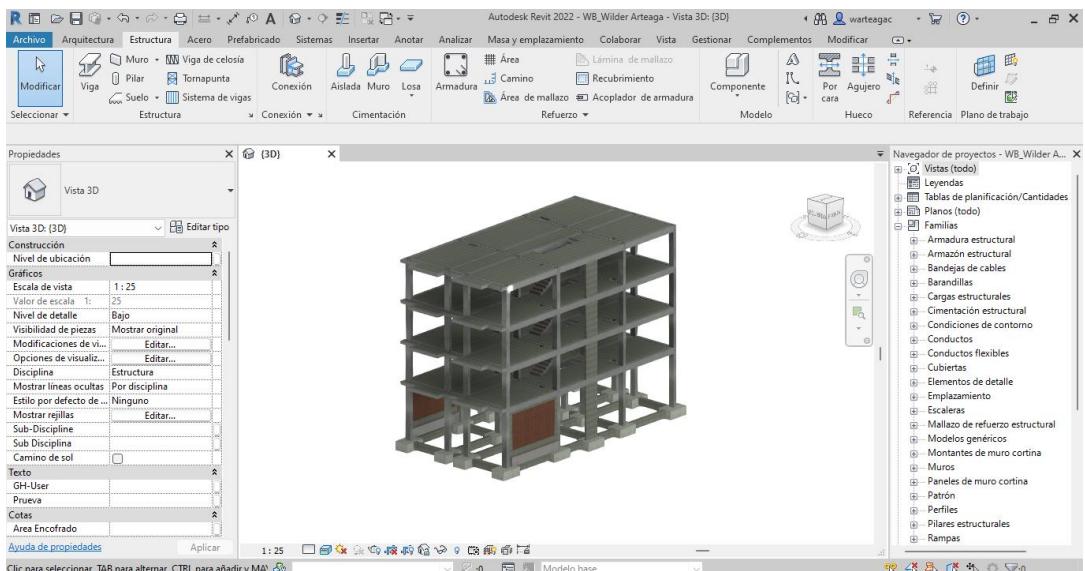
- ✓ Batería 6 celdas de Ion de litio 51 Whr
- ✓ Sistema operativo Windows 11 Home
- ✓ Dimensiones 357.7 x 248 x 27.5 mm
- ✓ Peso 2.3 Kg

### 3.6.2. Softwares

#### *Autodesk Revit*

Es un programa de modelado aplicado en la metodología BIM, que es utilizado por ingenieros, arquitectos, diseñadores y administradores en el campo de la construcción virtual. El software nos permite generar modelos en 3D, así mismo el poder entrar a la base de datos y configurar al deseo del usuario y la administración de todos los parámetros que se involucran en el ciclo de vida de una edificación, desde su etapa inicial hasta la demolición.

**Figura N°14:** Interfaz del programa Autodesk Revit 2021



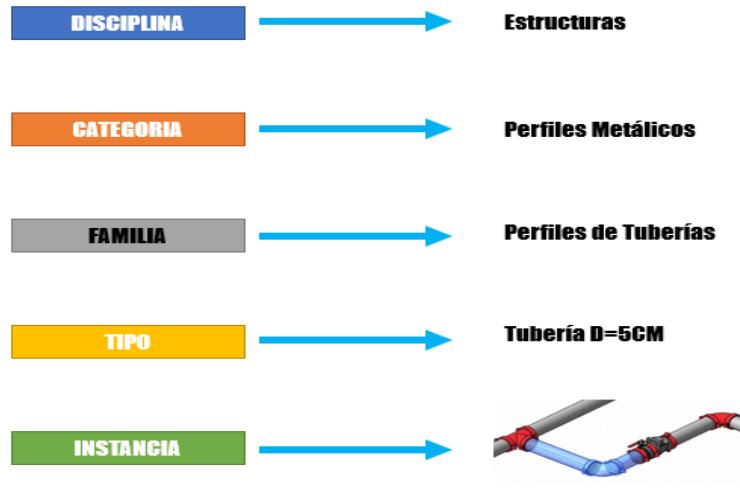
**Fuente:** Elaboración Propia

#### Clasificación de elementos en Revit

Uno de los puntos más convenientes que tiene el software es que nos permite crear elementos y agruparlos como una identidad llamados dentro del

entorno de Revit las familias, ese procedimiento de generación de familias se puede hacer de manera sencilla y con ninguna programación, así tenido los elementos principales que contiene Revit.

**Figura N°15: Jerarquía de datos en Revit**



*Fuente: Elaboración Propia*

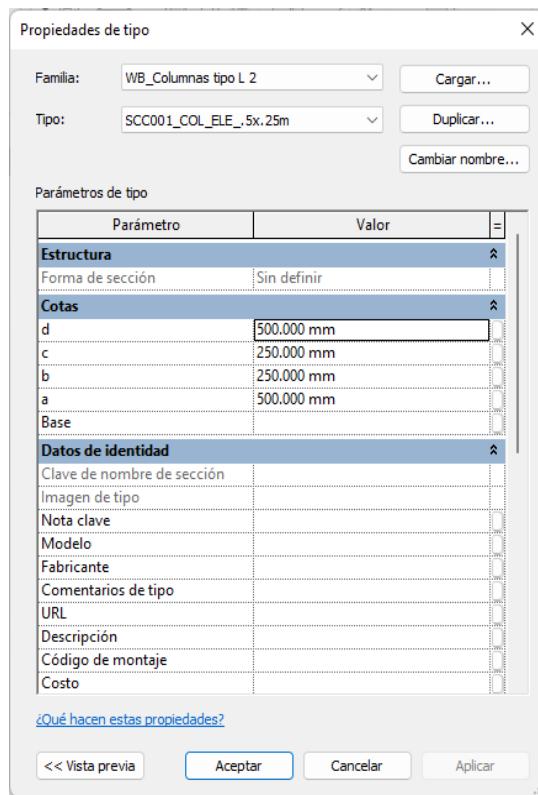
Las disciplinas maestras que tiene Revit por defecto y que no se pueden modificar vendrían ser las siguientes:

- ✓ Especialidad de Arquitectura
- ✓ Especialidad de Estructura
- ✓ Especialidad de Hidrosanitaria
- ✓ Especialidad de MEP

### **Modelado paramétrico**

Los elementos de Revit contienen datos que los caracteriza llamados parámetros estos valores están expresados en números, texto, valores booleanos, etc. Estos valores nos ayudaran a poder gestionar y modificar la información de todos los elementos, así como también nos permite crear parámetros personalizados por el usuario y compartirlo en proyectos a modelar. (Martínez, 2019).

**Figura N°16:** Parámetros de un elemento perteneciente a una familia



**Nota:** Parámetros de una Columna Rectangular Tipo L2

**Fuente:** Elaboración Propia

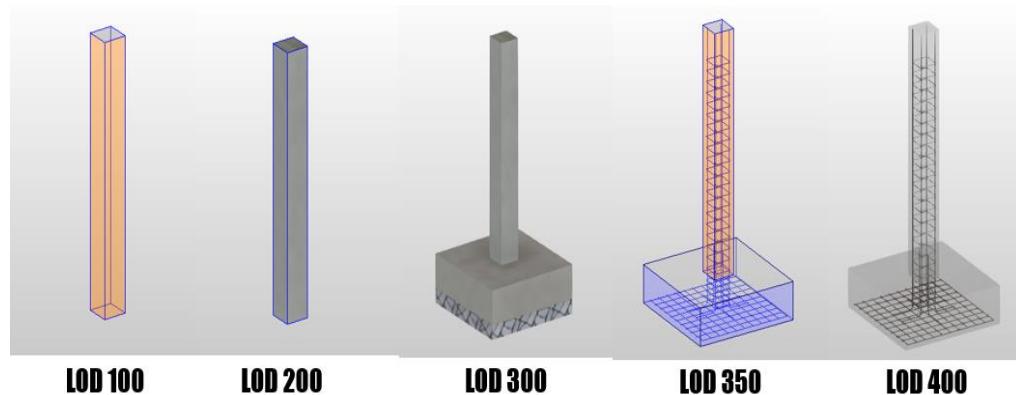
### Indicador de nivel de desarrollo

También llamado en abreviado LOD, este valor nos representa el nivel de desarrollo que se realizó en un proyecto, convencionalmente se encuentra en valores de 100 y superiores cuando se realiza detalles especiales (Montellano, 2013).

- ✚ LOD 100 es el nivel de detalle que se usa para proyectos de factibilidad, datos que nos ayudarán para la cuantificación de metrados y posterior presupuesto (Montellano, 2013).
- ✚ LOD 200 define la gráfica de los elementos en sólido, ubicación, dimensiones, posición y nivel de referencia, estos datos son detallados y nos ayudarán a describir de buena calidad la planilla de metrados (Montellano, 2013).

- LOD 300 define las dimensiones de un sólido de manera más precisa, así como la ubicación y valores no gráficos que nos ayudaran a tener un presupuesto con precisión (Montellano, 2013).
- LOD 400 este nivel se enfoca en los detalles del grafico para facilitar el proceso de construcción en campo, estos modelos vendrían ser de visualización realística (Montellano, 2013).

**Figura N°17: Niveles de desarrollo - LOD**



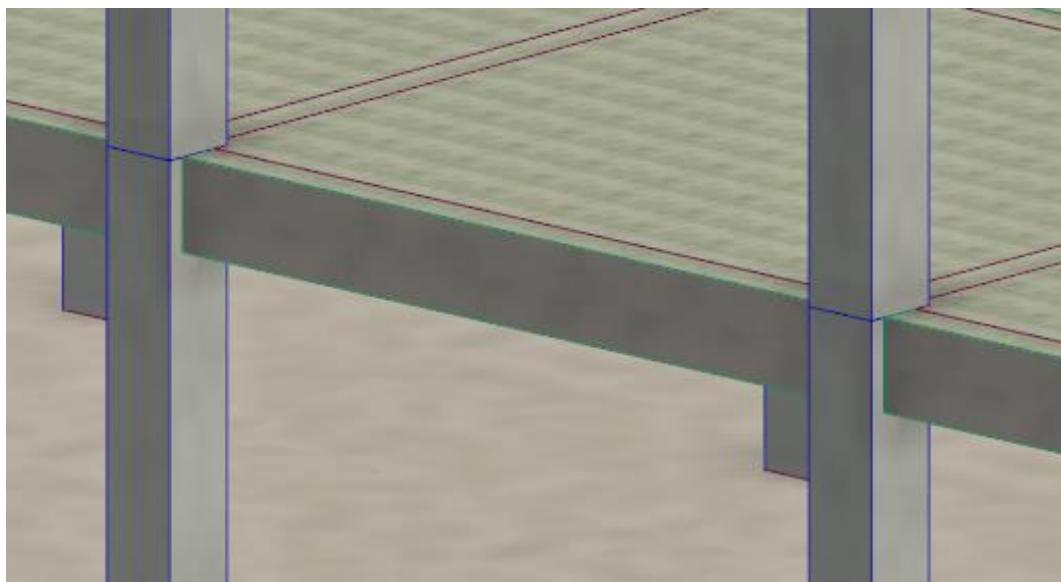
*Nota: Se muestra los niveles de desarrollo en una zapata y columna con sus gráficos respectivos.*

*Fuente: Elaboración Propia*

### **Modelado paramétrico estructural**

Los criterios vendrían ser reglas que debemos de cumplir en el proceso de modelado de un proyecto, los estándares serán regidos por el usuario responsable, el deberá asumir el criterio de las categorías a utilizar, así como que parámetros permitir en el flujo de trabajo en función a los resultados que desee tener del proyecto.

**Figura N°18: Criterios de modelo para un casco estructural**



**Fuente:** Elaboración Propia

### **Revisión del Modelo Paramétrico**

Posterior a realizar el modelo tridimensional es necesario poder realizar la verificación los criterios que definió del usuario responsable del proyecto, este apartado tiene la finalidad de verificar si cumple con los estándares de la metodología BIM.

#### ***Dynamo for Autodesk Revit***

La empresa Autodesk lo define como un software de “Programación gráfica de código abierto para diseño” que se creó en el año 2016 como un plugin y en 2017 dentro de la pestaña de gestionar ya que es un software que permite gestionar modelos, informativos y parámetros (Autodesk Dynamo Studio, 2017).

#### ***Autodesk AutoCAD 2021***

Auto CAD (Computer-Aided Design) es un software de diseño en 2D y 3D asistido por un ordenador que se utiliza para poder diseñar planos en su diversidad obteniendo velocidad y precisión en los resultados (Autodesk AutoCAD, 2021).

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

#### **3.7.1. Selección:**

Los datos considerados de la selección son los metrados elaborados por el mismo investigador, recalculados empleando los planos originales del expediente primigenio.

#### **3.7.2. Validación:**

Para la validación de la investigación se aplicó el método de juicio de expertos. Se elaboraron dos cuestionarios con preguntas cerradas basadas en la escala Likert: el primero permitió verificar la precisión de los metrados recalculados por parte de un ingeniero especialista en metrados y BIM; y el segundo permitió evaluar la correcta estructuración y conexión de los algoritmos desarrollados.

#### **3.7.3. Confiabilidad:**

Los datos obtenidos son precisos y confiables ya que esta aplicación se tuvo que probar en más de 3 módulos (III, IV y V) de análisis. Una vez obtenidas las valoraciones del juicio de expertos, fue necesario asegurar que los instrumentos aplicados realmente midieran de manera estable y coherente. Por ello, se evaluó la confiabilidad de los cuestionarios, buscando comprobar que las respuestas recogidas mantuvieran consistencia interna y reflejaran criterios sólidos. Este paso permitió tener la tranquilidad de que los resultados no dependían del azar, sino de una apreciación firme y bien fundamentada por parte de los especialistas.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

#### **3.8.1. Procedimiento**

##### ***Descripción de los procedimientos a realizar en la investigación***

El desarrollo del método de estudio se enfoca en el estudio del impacto de Dynamo en obras de edificaciones, para la cuantificación de partidas en la especialidad de estructuras acorde a la norma técnica de metrados, frente al método convencional ya que para realizar el cálculo de metrados de una obra de construcción vendría ser algo muy complejo en función a la envergadura del proyecto.

El objetivo del proyecto consiste en realizar un modelo tridimensional optando un nivel de detalle LOD 300, así mismo partiendo de una plantilla personalizada a la especialidad de estructura, para los elementos que se va a cuantificar y una posterior comparación con valores de la planilla de metrados realizado por el método convencional o tradicional.

Al inicio del proyecto de investigación se deberá de recolectar los datos de la muestra como: Planos en formato “.dwg” así mismo como la planilla de metrados en la especialidad de estructura que se ha realizado en la obra ya existente y a partir de estos se podrá realizar el proceso de modelado en el software Revit versión 22.

El modelo 3D que se va elaborar será de una Institución Educativa, cuyos elementos contaran con información almacenada y datos parametrizados que nos ayudaran a poder gestionarlos el proceso de automatización dentro del interfaz de programación visual. Cabe mencionar que se debe de tener un adecuado modelo generado en el entorno de trabajo ya que, si hubiera errores o conflictos en el

modelo, el proceso de automatización no sería preciso lo cual significa que nos daría datos erróneos e incluso no funcionaría la programación visual.

De esa manera después de haber realizado el modelo 3D adecuado se podrá realizar el proceso de programación visual en el entorno de Dynamo.

Dentro de la norma técnica de metrados que nos ayuda a poder realizar la cuantificación de cantidades de elementos diversos y poder jerarquizarlos según su acción en el trabajo de campo, nos da tres puntos de sub partidas en los elementos estructurales que vendrías ser: Movimiento de tierras, Concreto, Encofrado y Armadura de Acero, así mismo se debe considerar las sub partidas de material de relleno y excavación.

En tal sentido el fin de poder tener una planilla de metrados completa y de calidad considerando todas las partidas que se puedan involucrar en el modelo que se va a desarrollar, por lo tanto, se ha considerado elaborar 4 scripts que unificarían todos los valores que se requiere en una planilla de metrados, vendrían ser las siguientes.

- ❖ Elaboración de un algoritmo para las partidas de encofrado, considerando los valores de largo, ancho, área, ubicación, nivel y descripción.
- ❖ Elaboración de código en Python para la creación de material de relleno en partidas relacionadas a cimentaciones.
- ❖ Elaboración de un algoritmo para las partidas de armadura de acero, con valores de peso, elemento estructural, ubicación, nivel, alto y descripción.
- ❖ Elaborar el algoritmo de cuantificación de partidas a nivel general de todo el proyecto con los ítems considerados por el usuario.

Dentro de la programación visual se usará nodos por defecto del sistema, así como nodos personalizados por terceros que nos ayudara en casos especiales

que vamos a requerir, así mismo se deberá elaborar códigos en lenguaje escrito en el entorno de Python los cuales nos ayudara a realizar accione complejas que nos tomaría tiempo realizarlo de manera gráfica o visual.

Ya teniendo los valores de las partidas unificadas en una planilla de metrados, se verificará si estos cumplen con las reglas propuestas por el diseñador y programador, si no cumplieran con las reglas o hubiera un conflicto se tendrá que rectificar el flujo de automatización del trabajo realizado.

Ya verificado y teniendo la certeza de tener una planilla de metrados de calidad, precisión, y real del modelo, se compara estos resultados con los valores de la hoja de metrados del expediente técnico recolectado de la muestra que vendría ser una institución educativa, y así poder tener los valores de escala en cuanto a tiempo, calidad, costo, margen de error. En tal sentido se podrá ya tener la presentación de los resultados correspondientes a los objetivos propuestos y tener una conclusión del proyecto de investigación.

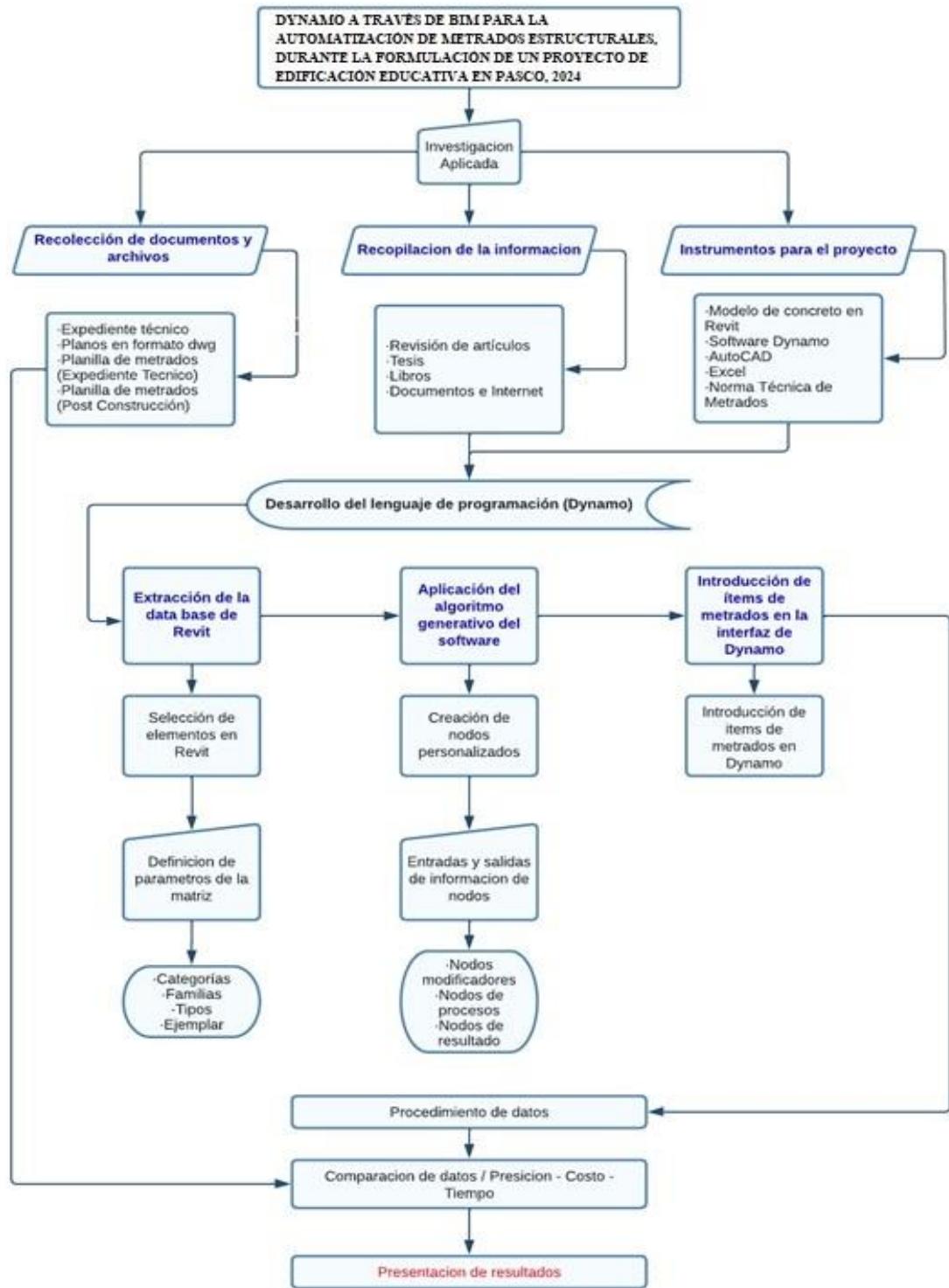
### **3.9. Tratamiento estadístico**

El tratamiento estadístico que se le dará a la investigación será a través de la estadística inferencial, ya que a través de análisis vamos a estimar parámetros que nos ayudarán a probar nuestras hipótesis, con el método de análisis paramétricos (Hernández-Sampieri, 2018) que se realizara la Prueba de Normalidad de test de shapiro- wilk en base que solo existe menos de 50 datos en el análisis.

El tratamiento se analiza con dos datos esenciales los cuáles serán:

- Metrados elaborados por nosotros mismos y avalados por el juicio de expertos.
- Metrados automatizados con Dynamo.

**Figura N°19: Proceso de datos para la elaboración de metrados automatización en Dynamo en partidas de metrados estructurales**



**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica**

#### **3.10.1. Orientación ética**

En atención al respeto hacia los participantes, esta investigación incorpora principios bioéticos. Según Martín (2013), los lineamientos éticos aplicados a la metodología investigativa consideran los principios de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia (p.29).

##### **Principio de Autonomía:**

De acuerdo con Martín (2013), su base filosófica se sustenta en Kant, quien sostiene que ‘la persona es un fin en sí misma y no debe ser tratada como un medio’ (p.29). En relación con el ‘respeto a los puntos de vista’, la investigación establece que los participantes fueron considerados libres y sin coerción; además, contaron con la facultad de retirarse del estudio si así lo decidían, garantizando su derecho a la autodeterminación sin que ello genere algún tipo de consecuencia.

##### **Principio de Beneficencia:**

Basándose en el principio de beneficencia entendido como ‘Hacer el Bien’, esta investigación resulta provechosa para la Escuela de Ingeniería Civil, puesto que el diagnóstico realizado y la propuesta formulada fortalecerán el nivel investigativo en la gestión educativa. Indica Martín, 2013, que ‘la beneficencia sin autonomía conduciría a posturas paternalistas. No debe interpretarse como caridad o compasión, pues se ejerce entre personas autónomas con capacidad para decidir’ (p.29).

##### **Principio de no maleficencia:**

Partiendo del principio de ‘no causar daño’, esta investigación no genera perjuicios ni afectaciones, ya que en todo momento se garantizó la

confidencialidad de los participantes, orientándose siempre a promover el bienestar colectivo de la población involucrada. Señala Martín (2013) que ‘si en alguna situación no es posible generar un bien, al menos debe evitarse producir un mal. Este principio prevalece cuando entra en conflicto con otros principios’ (p.29).

#### **Principio de justicia:**

En cuanto a la dignidad, consideración y respeto, la investigación garantiza que todos los participantes recibieron iguales derechos, un trato equitativo y acceso a la socialización de los resultados; ningún individuo fue objeto de discriminación bajo ningún criterio, procurando así el cumplimiento del derecho a la justicia y la equidad. Martín (2013) explica que este principio fue el último en incorporarse, no de manera fortuita, sino porque históricamente tardó más en reconocerse dentro de la ética biomédica. Desde la tradición aristotélica, la justicia implica ‘tratar igual a quienes son iguales y de manera distinta a quienes son distintos’, es decir, otorgar a situaciones similares un tratamiento equivalente (p.29).

#### **3.10.2. Orientación filosófica y epistémica**

La presente investigación se sustenta en la perspectiva filosófica del intuicionismo. Esta corriente surge como una oposición al logicismo de Russell, rechazando su carácter no constructivo y las paradojas derivadas, y se fundamenta en tres postulados centrales:

- I. los objetos de estudio se originan directamente desde la intuición pura, siendo anteriores al lenguaje y a los sistemas lógicos.

- II. las reglas que determinan su comportamiento provienen de su proceso de construcción y no de estructuras lógicas externas, como planteaban Frege y Russell
- III. este enfoque permite comprender fenómenos complejos, como la influencia del liderazgo directivo en el desempeño docente (Brouwer, 1983, p. 72).

A partir de los hallazgos expuestos en este estudio, se plantea que ‘el liderazgo transformacional mantiene una correlación positiva con un desempeño más eficiente, mayores niveles de innovación y un clima institucional favorable, fundamentado en sus cuatro componentes: Influencia Idealizada, Motivación Inspiradora, Estimulación Intelectual y Consideración Individual’ (72:2).

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

Los trabajos desarrollados en la investigación, debido a la propia naturaleza de ésta al ser del tipo No Experimental, se estructuró con la siguiente metodología:

- ❖ Recaudación de información: de partidas desarrolladas en el componente de estructuras del pabellón N°1 (Módulos III, IV y V) de la Institución Educativa N°34047 Cesar Vallejo y la cuantificación de estas mismas del proyecto primigenio.
- ❖ Desarrollo de los algoritmos con Dynamo para cada partida existente en el proyecto original del expediente (Ver anexos), para la cuantificación y obtención de metrados estructurales automatizada.
- ❖ En la base de Revit y con los algoritmos desarrollados plantear el Modelo 3D del Pabellón N°1 (Módulos III, IV y V) de la institución educativa N°34047 Cesar Vallejo.

- ❖ Obtener progresivamente los resultados automatizados de las partidas de los metrados estructurales del pabellón N° 1 (Módulos III, IV y V).

#### 4.1.1. Datos recolectados

La información base recolectada para el desarrollo de los algoritmos para las partidas adecuadas fueron tomadas del expediente primigenio la cual fue solicitada a través de un proceso administrativo y documentado teniendo respuestas positivas por parte del Gobierno Regional de Pasco quien estuvo a cargo del proyecto, esta información se otorgó de manera digital a los investigadores para un mejor manejo de los datos, así mismo se obtuvieron las partidas de metrados presente en el Acta de Recepción de Obra que se utilizó como datos finales de la obra y se tomaron como reales para la posterior análisis de los resultados obtenidos con el proceso de Automatización con Dynamo.

**Figura N°20:** Formato original de los metrados por módulos

01 METRADO - MÓDULO I – OBRAS PROVISIONALES Y PRELIMINARES.xlsx	153,573	144,540	Hoja de cálculo de ..	09/12/2015 07:35 p.m.
02 METRADO - MÓDULO II MEJORAMIENTO DE AMBIENTES EXISTENTES.xls	513,024	77,290	Hoja de cálculo de ..	10/12/2015 04:13 p.m.
03 METRADO - MÓDULO III ADMINISTRATIVO Y LABORATORIOS.xls	849,920	154,765	Hoja de cálculo de ..	10/12/2015 10:17 a.m.
04 METRADO - MÓDULO IV – CONSTRUCCIÓN DE AULAS DE EDUCACIÓN INICIAL.xls	265,216	45,109	Hoja de cálculo de ..	10/12/2015 10:17 a.m.
05 METRADO - MÓDULO V SERVICIOS HIGIÉNICOS, AULAS PSICOMOTRIZ Y VIRTUAL.xls	398,848	71,810	Hoja de cálculo de ..	10/12/2015 10:42 a.m.
06 METRADO - MÓDULO VI SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.xls	146,944	29,333	Hoja de cálculo de ..	10/12/2015 10:49 a.m.
07 METRADO - MÓDULO VII – CERCO PERIMETRICO.xlsx	48,943	43,020	Hoja de cálculo de ..	10/12/2015 10:49 a.m.
08 METRADO - MÓDULO VIII – ESTADIO 01 VESTUARIOS SH VARONES.xlsx	214,528	34,709	Hoja de cálculo de ..	10/12/2015 10:49 a.m.
08 METRADO - MÓDULO VIII – ESTADIO 02 TRIBUNA.xlsx	89,371	75,056	Hoja de cálculo de ..	10/12/2015 10:49 a.m.
08 METRADO - MÓDULO VIII – ESTADIO 03 CAMPO DE FUTBOL.xls	105,984	15,145	Hoja de cálculo de ..	08/12/2015 06:07 p.m.
09 METRADO DE MOBILIARIO.xlsx	29,956	26,858	Hoja de cálculo de ..	10/12/2015 10:49 a.m.

*Nota: En la imagen, en la parte izquierda se presenta las fechas de modificación y realización de los metrados.*

*Fuente: Gobierno Regional de Pasco.*

**Figura N°21:** Archivos originales de los metrados estructurales del Módulo III.

HOJA DE METRADOS														
PROYECTO	: MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS EDUCATIVOS DE LA INSTITUCION EDUCATIVA INTEGRADA "CESAR VALLEJO" - DISTRITO DE YANACANCHA, PROVINCIA DE PASCO, REGION PASCO.													
DISTRITO	: YANACANCHA													
PROVINCIA	: PASCO													
REGION	: PASCO													
FORMULA	: ESTRUCTURAS													
SUBPRESUPUESTO : MÓDULO III CONSTRUCCION DE AMBIENTES ADMINISTRATIVOS, DOCENTE Y LABORATORIOS														
COLEGIO: I.E. "CESAR VALLEJO" FECHA: SETIEMBRE 2015														
PART.	DESCRIPCION	# DE VECES	MEDIDAS			PARCIAL	TOTAL							
			LARGO	ANCHO	ALTO		UNIDAD							

*Nota: El encabezado de los metrados donde se detalla la información del proyecto, específicamente el Pabellón N° 1 (Módulo III).*

*Fuente: Gobierno Regional de Pasco.*

#### 4.1.2. Elaboración de la construcción virtual – Modelo

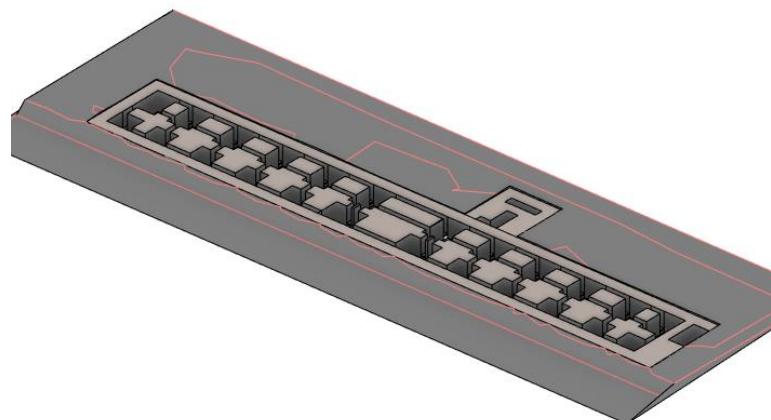
##### *Etapa 1: Excavaciones, nivelaciones y relleno*

De desarrollo el modelo virtual a partir de la topografía del lugar de trabajo como terreno natural, así mismo se implementó la herramienta plataforma y emplazamiento para simular las excavaciones, nivelación interior y apisonado, la categoría modelos genéricos en función extrusión para el material de relleno.

Los modelos genéricos de tipo sólido fueron modificados en función a la intersección que tienen cada uno de ellos con los elementos estructurales de esa forma se obtuvo un sólido con valor de volumen preciso.

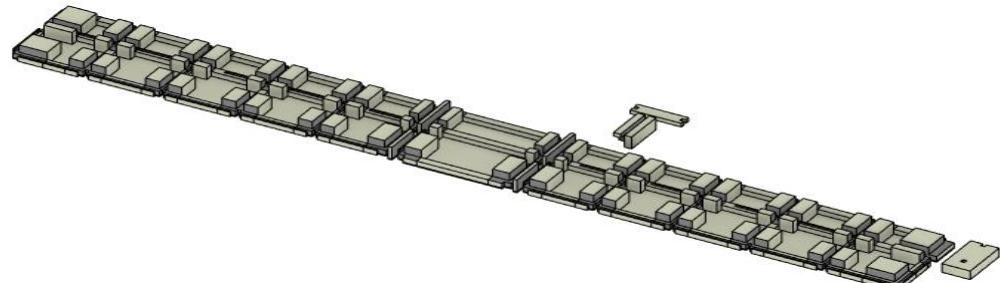
Se modelo de acuerdo a los planos en formato .dwg de referencia.

**Figura N°22:** *Modelo virtual pertenecientes para cimentaciones, nivelación de terreno y apisonado.*



*Fuente:* Elaboración propia

**Figura N°23:** *Modelo virtual perteneciente a rellenos en cimentación y nivelación*



*Fuente:* Elaboración propia.

***Etapa 2: Cimentaciones; zapatas, solados, vigas de cimentación y sobrecimientos reforzado***

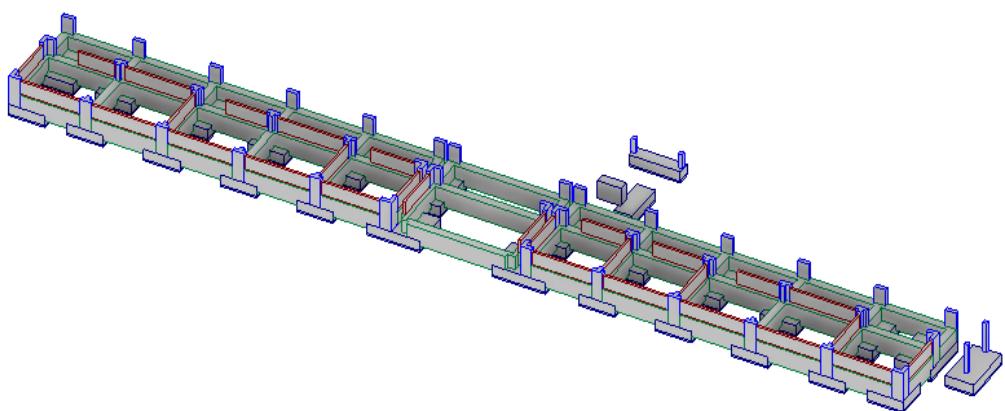
Se desarrolla los elementos estructurales con variedad de dimensiones en:

- ❖ Zapatas Aisladas
- ❖ Zapatas Combinadas
- ❖ Vigas de Cimentación
- ❖ Solados
- ❖ Base de concreto de escalera
- ❖ Sobrecimiento Estructural

Todas estas pertenecientes a las categorías de cimentación estructural en losas, aisladas, armazones estructurales y muros estructurales en forma de sólido.

Se modelo de acuerdo a los planos en formato .dwg de referencia.

***Figura N°24: Modelo virtual en elementos estructurales pertenecientes a las cimentaciones de la edificación***



***Fuente: Elaboración Propia.***

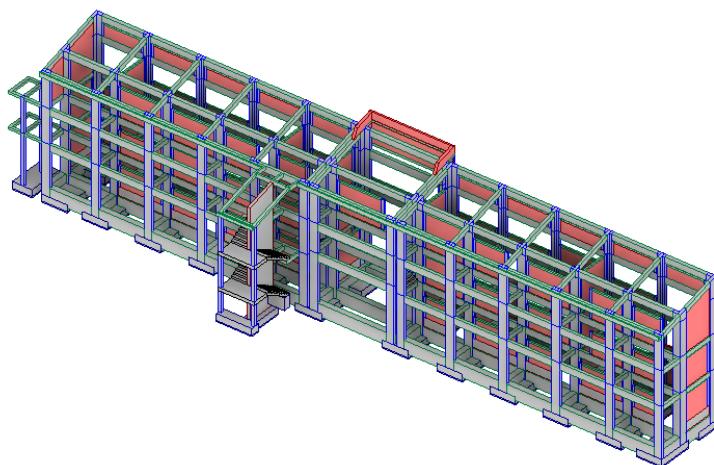
***Etapa 3: Elementos estructurales: (columnas, vigas, losas, columneta, vigueta, escaleras, placas)***

Se desarollo los elementos estructurales con variedad de dimensiones en:

- ❖ Columnas
- ❖ Vigas Peraltadas
- ❖ Losas Aligeradas
- ❖ Losas Macizas
- ❖ Columnetas
- ❖ Viguetas
- ❖ Escaleras
- ❖ Placas

Todas estas pertenecientes a las categorías de pilares estructurales, armazón estructural, muros estructurales, suelos y escaleras in-situ en forma de sólido. Se modelo de acuerdo a los planos en formato .dwg de referencia.

***Figura N°25: Modelo virtual del casco estructural de concreto armado y también se modelo partidas de concreto simple***



***Fuente: Elaboración propia.***

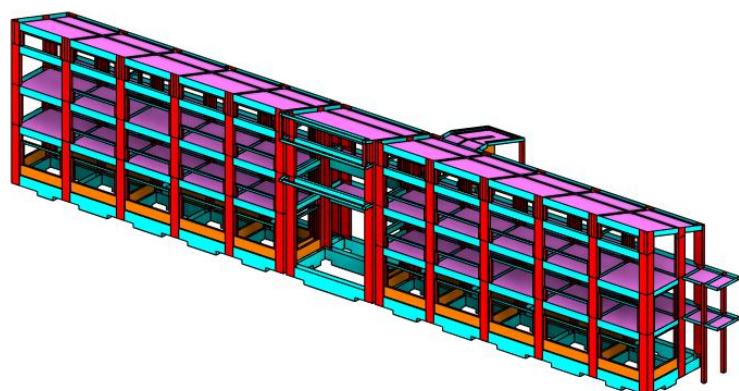
#### ***Etapa 4: Encofrados en elementos estructurales***

Se desarrollo el material de encofrados para los elementos estructurales con variedad de dimensiones en:

- ❖ Columnas
- ❖ Vigas Peraltadas
- ❖ Losas Aligeradas
- ❖ Losas Macizas
- ❖ Columnetas
- ❖ Viguetas
- ❖ Escaleras
- ❖ Placas

Todas estas pertenecientes a las categorías masa acopladas a las categorías de pilares estructurales, armazón estructural, muros estructurales, suelos y escaleras in-situ en forma de sólido. Se realizo el modelo del encofrado en función a lo descrito en la normativa vigente.

***Figura N°26: Modelo virtual de encofrados pertenecientes a los elementos requeridos***



***Fuente: Elaboración Propia***

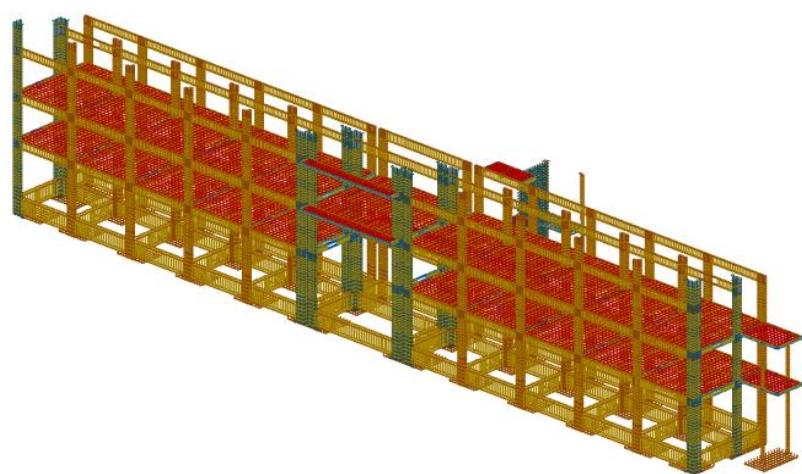
### ***Etapa 5: Acero de refuerzo en elementos estructurales***

Se desarrollo el modelamiento de los aceros de refuerzo para los elementos estructurales con variedad de dimensiones en:

- ❖ Columnas
- ❖ Vigas Peraltadas
- ❖ Losas Aligeradas
- ❖ Losas Macizas
- ❖ Columnetas
- ❖ Viguetas
- ❖ Escaleras
- ❖ Placas

Todas estas pertenecientes a las categorías armazón estructural, acopladas a las categorías de pilares estructurales, armazón estructural, muros estructurales, suelos y escaleras in-situ en forma de sólido. Se realizo el modelo del encofrado en función a lo descrito en la normativa vigente.

***Figura N°27: Modelado virtual de los aceros de refuerzo en los elementos estructurales***

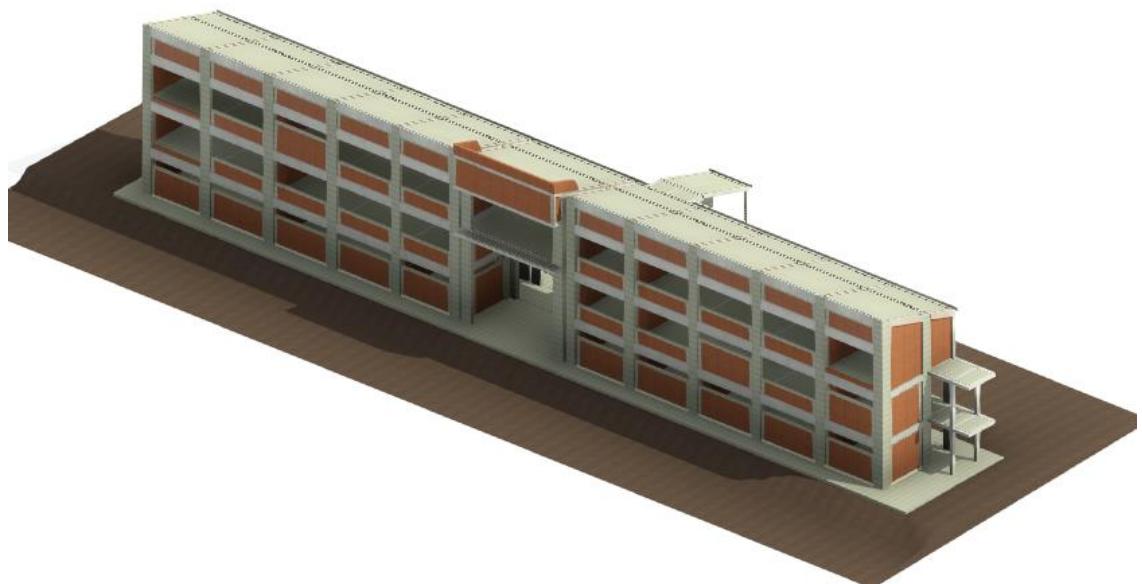


***Fuente: Elaboración propia***

### ***Etapa 6: Construcción virtual completa***

Se desarrollo el modelamiento completo de la muestra propuesta con los elementos estructurales que están a la norma técnica de metrados, así como los elementos de trabajos de movimiento de tierras, el correcto modelo realizado nos ayudara a poder cuantificar los elementos en el aparatado siguiente.

***Figura N°28: Construcción virtual completa***



***Fuente: Elaboración propia.***

#### **4.1.3. Desarrollo de los Algoritmos**

Los tipos de nodos utilizados en el desarrollo de los algoritmos son los que nos brinda la propia interfaz de Dynamo, entre estas tenemos: Dictionary, Geometry, Input, List, Math, String, Revit.

De esta manera se ha desarrollado algoritmos de cada herramienta y partida a utilizar, como es el caso de la creación de parámetros y partidas puntuales de un metrado.

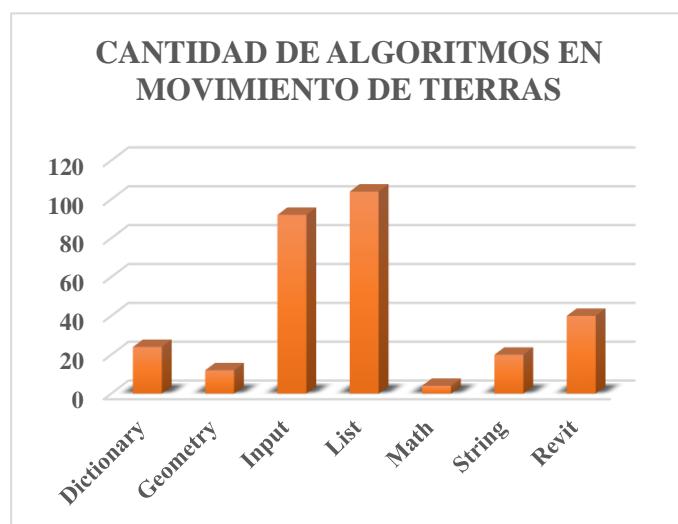
- **MOVIMIENTO DE TIERRAS:** Excavaciones simples, Relleno con Material propio, nivelación interior y compactación, eliminación de material excedente.

**Tabla N°3: Cantidad de tipos de nodos utilizados en los Algoritmos de movimiento de tierras**

MOVIMIENTO DE TIERRAS.							
Partida	Dictionary	Geometry	Input	List	Math	String	Revit
<b>Excavaciones</b>	6	3	23	26	1	5	10
<b>Relleno Con material Propio</b>	6	3	23	26	1	5	10
<b>Nivelación interior y compactación</b>	6	3	23	26	1	5	10
<b>Eliminación de material excedente</b>	6	3	23	26	1	5	10

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura N°29: Total de Algoritmos utilizados en la partida de movimiento de tierras**



*Fuente: Elaboración propia.*

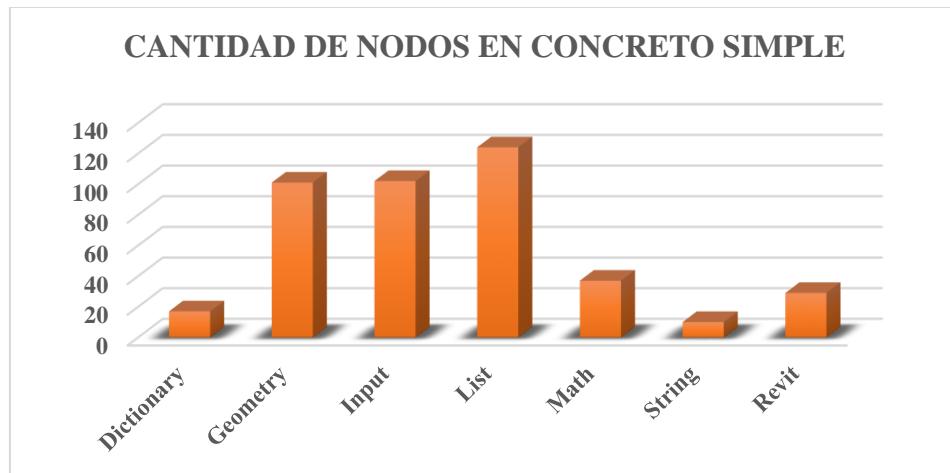
- CONCRETO SIMPLE: Solados Falso piso.

**Tabla N°4:** Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos concreto simple

CONCRETO SIMPLE							
Partida	Dictionary	Geometry	Input	List	Math	String	Revit
<b>Solados</b>	5	33	35	38	13	3	8
<b>Cimiento corrido</b>	5	34	35	40	11	4	9
<b>Falso piso</b>	7	34	32	46	13	3	12

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°30:** Total de algoritmos utilizados en la partida de concreto simple



*Fuente: Elaboración Propia*

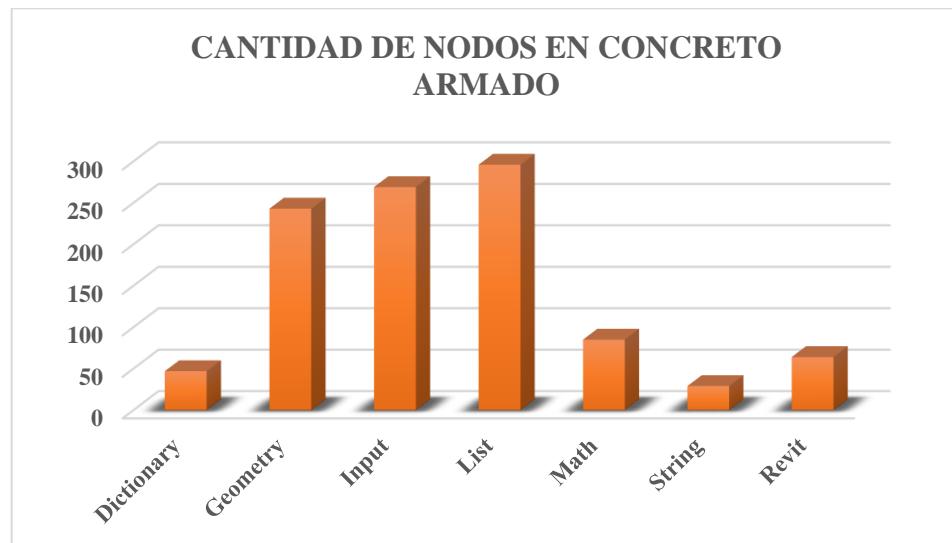
- CONCRETO ARMADO: Vigas, columnas, losas, escaleras, viguetas, columnetas, placas, sobrecreimiento reforzado.

**Tabla N°5: Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos concreto armado**

CONCRETO ARMADO								
Partida	Dictionary	Geometry	Input	List	Math	String	Revit	
<b>Zapatas</b>	5	31	35	39	11	3	8	
<b>Vigas</b>	7	31	37	39	11	3	8	
<b>Columnas</b>	7	31	37	39	11	3	8	
<b>Losas</b>	7	32	37	39	13	7	12	
<b>Ladrillo en losas</b>	4	19	16	20	4	2	4	
<b>Escaleras</b>	6	33	36	40	11	4	8	
<b>Base de Escaleras</b>	6	33	36	40	11	4	8	
<b>Sobrecimiento reforzado</b>	5	33	35	40	13	3	8	

*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura N°31: Total de algoritmos utilizados en la partida de concreto armado**



*Fuente: Elaboración Propia.*

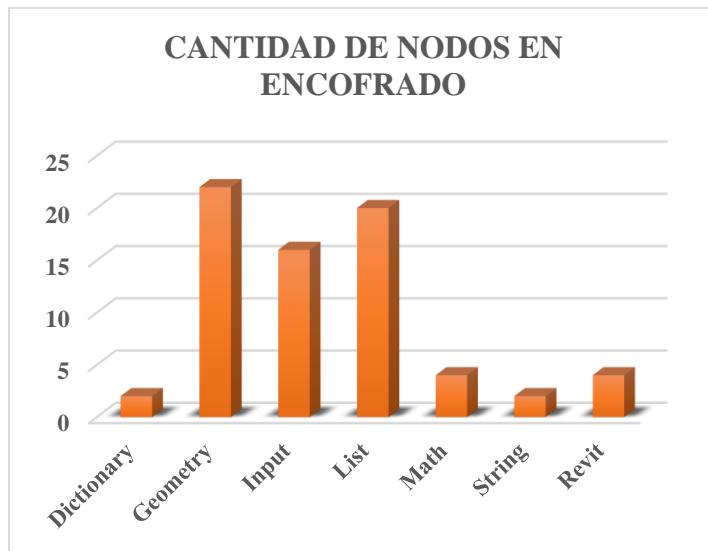
- ENCOFRADO: En todos los elementos estructurales.

**Tabla N°6:** Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos de encofrado

ENCOFRADO								
Partida	Dictionary	Geometry	Input	List	Math	String	Revit	
Encofrado	2	22	16	20	4	2	4	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Figura N°32:** Total de algoritmos utilizados en la partida de encofrados



**Fuente:** Elaboración Propia.

- ACERO REFORZADO: Pesos nominales, armaduras en general.

**Tabla N°7:** Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos acero reforzado

ACERO REFORZADO								
Partida	Dictionary	Geometry	Input	List	Math	String	Revit	
Pesos	2	22	16	20	4	2	4	
Nominales								
Acero en Armaduras	6	16	18	8	3	2	8	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Figura N°33:** Total de algoritmos utilizados en la partida de acero reforzado



**Fuente:** Elaboración Propia.

HOJA DE METRADOS: Movimiento de tierras, Concreto simple, Concreto armado, armadura estructural.

**Tabla N°8:** Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos en la hoja de metrados

HOJA DE METRADOS							
Partida	Dictionary	Geometry	Input	List	Math	String	Revit
<b>Movimiento de Tierras</b>	14	24	19	13	10	8	10
<b>Concreto Simple</b>	10	25	16	12	7	5	6
<b>Concreto Armado</b>	11	25	19	13	8	8	12
<b>Armadura Estructural</b>	10	24	16	12	8	6	10

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Figura N°34:** Total de algoritmos utilizados en el desarrollo de la hoja de metrados



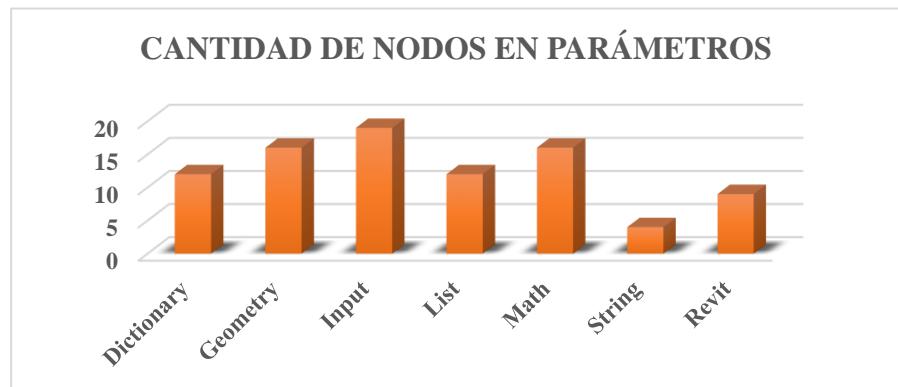
*Fuente:* Elaboración Propia.

**Tabla N°9:** Cantidad de tipos de nodos utilizados en los algoritmos

Partida	PARÁMETROS						
	Dictionary	Geometry	Input	List	Math	String	Revit
<b>Movimiento de Tierras</b>	12	16	19	12	16	4	9

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura N°35:** Total de algoritmos utilizados en el desarrollo de los parámetros



*Fuente:* Elaboración Propia.

### Resumen de la cantidad de nodos y algoritmos:

*Tabla N°10: Resumen de tipos de nodos*

Para el Desarrollo de Algoritmos	Dictionary	Geometry	Input	List	Math	String	Revit
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>	24	12	92	104	4	20	40
<b>CONCRETO SIMPLE</b>	17	101	102	124	37	10	29
<b>CONCRETO ARMADO</b>	47	243	269	296	85	29	64
<b>ENCOFRADO</b>	2	22	16	20	4	2	4
<b>ACERO REFORZADO</b>	8	38	34	28	7	4	12
<b>HOJA DE METRADOS</b>	45	98	70	50	33	27	38
<b>PARÁMETROS</b>	12	16	19	12	16	4	9

*Fuente: Elaboración Propia.*

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Detalle de metrados ejecutados en la partida de movimiento de tierras

Las Sub partidas desarrolladas en la partida de Movimiento de tierras fueron las siguientes:

*Tabla N°11: Tabla de partidas de movimiento de tierras*

ITEM	Partida y Sub Partida
<b>02.01</b>	MOVIMIENTO DE TIERRAS
<b>02.01.01</b>	EXCAVACIÓN PARA ZAPATAS Y ZANJAS DE CIMENTO CORRIDO
<b>02.01.02</b>	RELLENOS CON MATERIAL PROPIO
<b>02.01.03</b>	NIVELACIÓN, RELLENO Y COMPACTADO
<b>02.01.04</b>	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N°12: Tabla de resultados y precisión de estos mismos**

ITEM	Metrado Elaborado (1)	Metrado primigenio (2)	Metrado automatizado con Dynamo (3)	Precisión (1) y (2)	Precisión (1) y (3)
<b>02.01.01</b>	472.42	417.35	507.15	11.66%	-7.35%
<b>02.01.02</b>	280.93	213.93	271.52	23.85%	3.35%
<b>02.01.03</b>	430.52	431.08	429.35	-0.13	0.27%
<b>02.01.04</b>	239.36	254.27	235.63	-0.13	1.56%

*Nota: Se realiza la comparación de los metrados automatizados con los primigenios y los finales.*

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.2.2. Detalle de metrados ejecutados en la partida de concreto simple**

Las Sub partidas desarrolladas en la partida de Concreto Simple fueron las siguientes:

**Tabla N°13: Tabla de partidas de concreto simple**

ITEM	Partida y Sub Partida
<b>02.02</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>
<b>02.02.01</b>	CIMENTOS CORRIDOS
<b>02.02.02</b>	SOLADOS
<b>02.02.03</b>	FALSO PISOS
<b>02.03</b>	<b>SOBRECIMIENTOS</b>
<b>02.03.01</b>	SOBRECIMIENTO CONCRETO 1:8 + 25% PIEDRA MEDIAMA
<b>02.03.02</b>	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN SOBRECIMIENTO

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°14: Tabla de resultados y precisión de estos mismos**

Partida	Metrado Elaborados (1)	Metrado primigenio (2)	Metrado automatizado con Dynamo (3)	Precisión (1) y (2)	Precisión (1) y (3)
<b>02.02.01</b>	46.12	41.18	47.67	10.71	-3.36%
<b>02.02.02</b>	221.76	202.32	219.49	8.77%	1.02%
<b>02.02.03</b>	554.15	No se	533.81	-	3.67%
Considero					
<b>02.03.01</b>	3.68	6.34	3.71	-72.23%	-0.82%
<b>02.03.02</b>	59.44	59.44	58.58	0.00%	1.45%

*Nota: Se realiza la comparación de los metrados automatizados con los primigenios y los finales.*

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.2.3. Detalle de metrados ejecutados en la partida de concreto armado

Las Sub partidas desarrolladas en la partida de Concreto Armado fueron las siguientes:

**Tabla N°15: Tabla de resultados de metrados de concreto armado**

PARTIDAS		METRADO ELABORADO (1)	METRADO EXPEDIENTE (2)	METRADO AUTOMATIZADO (3)
<b>02.03. CONCRETO ARMADO</b>				
<b>02.03.01 ZAPATAS</b>				
02.03.01.1	CONCRETO PARA ZAPATAS	143.64	121.39	145.32
02.03.01.2	ACERO PARA ZAPATAS	7596.46	7523.34	7464.44
<b>02.03.02 COLUMNAS</b>				
02.03.02.1	CONCRETO PARA COLUMNAS	161.08	159.89	147.25
02.03.02.2	ENCOFRADO PARA COLUMNAS	1617.53	1491.87	1573.35
02.03.02.3	ACERO PARA COLUMNAS	30478.25	30540.46	30679.25
<b>02.03.03 VIGAS DE CIMENTACION</b>				
02.03.03.1	CONCRETO PARA VIGAS DE CIMENTACION	121.27	66.87	116.66
02.03.03.2	ENCOFRADO PARA VIGAS DE CIMENTACION	501.35	140.58	521.52
02.03.03.3	ACERO PARA VIGAS DE CIMENTACION	5228.08	5299.10	5246.74
<b>02.03.04 SOBRE CIMENTO REFORZADO</b>				
02.03.04.1	CONCRETO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	25.31	8.10	26.45
02.03.04.2	ENCOFRADO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	156.11	108.06	164.32
02.03.04.3	ACERO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	402.87	404.93	398.46
<b>02.03.05 VIGAS PERALTADAS</b>				
02.03.05.1	CONCRETO PARA VIGAS PERALTADAS	137.15	154.16	120.10
02.03.05.2	ENCOFRADO PARA VIGAS PERALTADAS	1182.47	1283.61	992.57
02.03.05.3	ACERO PARA VIGAS PERALTADAS	23946.24	23741.39	23845.34
<b>02.03.06 LOSA ALIGERADA</b>				
02.03.06.1	CONCRETO PARA LOSA ALIGERADA	152.56	120.72	120.93
02.03.06.2	ENCOFRADO PARA LOSA ALIGERADA	1145.36	1344.48	882.69
02.03.06.3	ACERO PARA LOSA ALIGERADA	11089.40	11131.32	3006.60
02.03.06.4	LADRILLOS ALIGERADO	7519	11872.80	7298
<b>02.03.07 ESCALERAS</b>				
02.03.06.1	CONCRETO PARA ESCALERAS	9.58	30.98	9.46
02.03.06.2	ENCOFRADO PARA ESCALERAS	60.47	109.49	61.79
02.03.06.3	ACERO PARA ESCALERAS	987.20	931.87	956.23
02.03.06.4	CONCRETO PARA BASE DE ESCALERAS	1	No se considero	0.99

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°16:** Tabla de resultados y precisión de estos mismos

PARTIDAS		PRECISIÓN (1) Y (2)	PRECISIÓN (1) Y (3)
<b>02.03.</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>		
<b>02.03.01</b>	<b>ZAPATAS</b>		
02.03.01.1	CONCRETO PARA ZAPATAS	15.49%	-1.17%
02.03.01.2	ACERO PARA ZAPATAS	0.96%	1.74%
<b>02.03.02</b>	<b>COLUMNAS</b>		
02.03.02.1	CONCRETO PARA COLUMNAS	0.74%	8.59%
02.03.02.2	ENCOFRADO PARA COLUMNAS	7.77%	2.73%
02.03.02.3	ACERO PARA COLUMNAS	-0.20%	-0.66%
<b>02.03.03</b>	<b>VIGAS DE CIMENTACION</b>		
02.03.03.1	CONCRETO PARA VIGAS DE CIMENTACION	44.86%	3.80%
02.03.03.2	ENCOFRADO PARA VIGAS DE CIMENTACION	71.96%	-4.02%
02.03.03.3	ACERO PARA VIGAS DE CIMENTACION	-1.36%	-0.36%
<b>02.03.04</b>	<b>SOBRE CIMIENTO REFORZADO</b>		
02.03.04.1	CONCRETO PARA SOBRE CIMIENTO REFORZADO	67.99%	-4.50%
02.03.04.2	ENCOFRADO PARA SOBRE CIMIENTO REFORZADO	30.78%	-5.26%
02.03.04.3	ACERO PARA SOBRE CIMIENTO REFORZADO	-0.51%	1.09%
<b>02.03.05</b>	<b>VIGAS PERALTADAS</b>		
02.03.05.1	CONCRETO PARA VIGAS PERALTADAS	-22.89%	4.26%
02.03.05.2	ENCOFRADO PARA VIGAS PERALTADAS	16.06%	-8.55%
02.03.05.3	ACERO PARA VIGAS PERALTADAS	0.86%	0.42%
<b>02.03.06</b>	<b>LOSA ALIGERADA</b>		
02.03.06.1	CONCRETO PARA LOSA ALIGERADA	20.87%	4.96%
02.03.06.2	ENCOFRADO PARA LOSA ALIGERADA	-17.38%	2.34%
02.03.06.3	ACERO PARA LOSA ALIGERADA	-0.38%	1.28%
02.03.06.4	LADRILLOS	-57.90%	2.94%
<b>02.03.07</b>	<b>ESCALERAS</b>		
02.03.06.1	CONCRETO PARA ESCALERAS	-223.38%	1.25%
02.03.06.2	ENCOFRADO PARA ESCALERAS	-81.07%	-2.18%
02.03.06.3	ACERO PARA ESCALERAS	5.60%	3.14%
02.03.06.4	CONCRETO PARA BASE DE ESCALERAS	No se considero	0%

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.2.4. Factores de comparación y parámetros de medición

**Escala de Precisión:** Se tomó en cuenta la variación de los resultados de los metrados automatizados con los metrados elaborados por nosotros mismos ya que este último representa a la realidad, lo cual abala el cuestionario de expertos como se muestra en los anexos para ello se realizó una tabla con escalas de 1 al 5 siendo el siguiente:

*Tabla N°17: Tabla de escala de precisión*

Escala de Precisión	Nivel de Precisión	Variación en la cuantificación	Descripción del nivel de precisión
<b>4 a 5</b>	Muy buena	0% a 5%	El metrado representa datos con mucha exactitud
<b>3 a 4</b>	Buena	6% a 15%	El metrado representa datos con relativa exactitud
<b>2 a 3</b>	Intermedia	16% a 25%	El metrado varía, pero se acerca a la realidad
<b>1 a 2</b>	Mala	26% a 70%	El metrado varía en gran medida a la realidad
<b>0 a 1</b>	Muy mala	71% a 100%	El metrado no representa en absoluto a la realidad

*Fuente: Elaboración Propia escala de medición (Likert de 5 niveles).*

**Escala de Costo:** Los resultados obtenidos con Dynamo nos mostrarán un costo diferente a los metrados primigenios que fueron base para el costo directo de estructuras de ejecución del proyecto a analizar con un costo de \$. 935,993.79 tomando ello como un 100%, para esto se tomará en cuenta los costos del análisis del precio unitario y se relacionará el costo resultado de los metrados primigenios con el costo resultado de los metrados automatizados, la escala de medición en variación al costo será la siguiente:

*Tabla N°18: Tabla de escala de costo*

Escala de Costo	Nivel de Costo	Variación del costo	Descripción del nivel del costo
<b>4 a 5</b>	Muy buena	0% a 5%	El costo representa datos con mucha exactitud
<b>3 a 4</b>	Buena	6% a 15%	El costo representa datos con relativa exactitud
<b>2 a 3</b>	Intermedia	16% a 25%	El costo varía, pero se acerca a la realidad
<b>1 a 2</b>	Mala	26% a 70%	El costo varía en gran medida a la realidad
<b>0 a 1</b>	Muy mala	71% a 100%	El costo no representa en absoluto a la realidad

*Fuente: Elaboración Propia escala de medición (Likert de 5 niveles).*

#### 4.2.5. Resultados sometidos al porcentaje de variación en la precisión

##### *Partida movimiento de tierras*

La precisión de los metrados automatizados son los siguientes:

**Tabla N°19:** Tabla de Resultados de precisión movimiento de tierras

ITEM	Metrado automatizado con Dynamo	Metrado Elaborado	Variación en la Precisión	Escala de Precisión
<b>02.01.01</b>	507.15	472.42	-7.35%	3 a 4
<b>02.01.02</b>	271.52	280.93	3.35%	4 a 5
<b>02.01.03</b>	429.35	430.52	0.27%	4 a 5
<b>02.01.04</b>	235.63	239.36	1.56%	4 a 5

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Nota:** El promedio en variación de precisión de las partidas comprendidas a Movimiento de Tierras es de 3.13% encontrándose en una escala de precisión de 4 a 5 presentándose un metrado con relativa exactitud.

##### *Partida de concreto simple*

La precisión de los metrados automatizados son los siguientes:

**Tabla N°20:** Tabla de Resultados de precisión concreto simple

Partida	Metrado automatizado con Dynamo	Metrado Elaborados	Variación en la Precisión	Escala de Precisión
<b>02.02.01</b>	47.67	46.12	-3.36%	4 a 5
<b>02.02.02</b>	219.49	221.76	1.02%	4 a 5
<b>02.02.03</b>	533.81	554.15	3.67%	4 a 5
<b>02.02.04</b>	3.71	3.68	-0.82%	4 a 5
<b>02.02.05</b>	58.58	59.44	1.45%	4 a 5

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Nota:** El promedio en variación de precisión de las partidas comprendidas a Concreto Simple es de 2.06% encontrándose en una escala de precisión de 4 a 5 presentándose un metrado con relativa exactitud.

### *Partida de concreto armado*

La precisión de los metrados automatizados son los siguientes:

*Tabla N°21: Tabla de Resultados de precisión concreto armado*

PARTIDAS		VARIACIÓN EN LA PRECISIÓN	ESCALA DE PRECISIÓN
<b>02.03.</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>		
<b>02.03.01</b>	<b>ZAPATAS</b>		
<b>02.03.01.1</b>	CONCRETO PARA ZAPATAS	-1.17%	4 a 5
<b>02.03.01.2</b>	ACERO PARA ZAPATAS	1.74%	4 a 5
<b>02.03.02</b>	<b>COLUMNAS</b>		
<b>02.03.02.1</b>	CONCRETO PARA COLUMNAS	8.59%	3 a 4
<b>02.03.02.2</b>	ENCOFRADO PARA COLUMNAS	2.73%	4 a 5
<b>02.03.02.3</b>	ACERO PARA COLUMNAS	-0.66%	4 a 5
<b>02.03.03</b>	<b>VIGAS DE CIMENTACION</b>		
<b>02.03.03.1</b>	CONCRETO PARA VIGAS DE CIMENTACION	3.80%	4 a 5
<b>02.03.03.2</b>	ENCOFRADO PARA VIGAS DE CIMENTACION	-4.02%	4 a 5
<b>02.03.03.3</b>	ACERO PARA VIGAS DE CIMENTACION	-0.36%	4 a 5
<b>02.03.04</b>	<b>SOBRE CIMENTO REFORZADO</b>		
<b>02.03.04.1</b>	CONCRETO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	-4.50%	4 a 5
<b>02.03.04.2</b>	ENCOFRADO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	-5.26%	3 a 4
<b>02.03.04.3</b>	ACERO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	1.09%	4 a 5
<b>02.03.05</b>	<b>VIGAS PERALTADAS</b>		
<b>02.03.05.1</b>	CONCRETO PARA VIGAS PERALTADAS	4.26%	4 a 5
<b>02.03.05.2</b>	ENCOFRADO PARA VIGAS PERALTADAS	-8.55%	3 a 4
<b>02.03.05.3</b>	ACERO PARA VIGAS PERALTADAS	-0.42%	4 a 5
<b>02.03.06</b>	<b>LOSA ALIGERADA</b>		
<b>02.03.06.1</b>	CONCRETO PARA LOSA ALIGERADA	4.96%	4 a 5
<b>02.03.06.2</b>	ENCOFRADO PARA LOSA ALIGERADA	2.34%	4 a 5
<b>02.03.06.3</b>	ACERO PARA LOSA ALIGERADA	1.28%	4 a 5
<b>02.03.06.4</b>	LADRILLOS	2.94%	4 a 5
<b>02.03.07</b>	<b>ESCALERAS</b>		
<b>02.03.06.1</b>	CONCRETO PARA ESCALERAS	1.25%	4 a 5
<b>02.03.06.2</b>	ENCOFRADO PARA ESCALERAS	-2.18%	4 a 5
<b>02.03.06.3</b>	ACERO PARA ESCALERAS	3.14%	4 a 5
<b>02.03.06.4</b>	CONCRETO PARA BASE DE ESCALERAS	0.01%	4 a 5

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** El promedio en variación de precisión de las partidas comprendidas a Concreto Armado es de 2.97% encontrándose en una escala de precisión de 4 a 5 presentándose un metrado cercana a la realidad.

#### 4.2.6. Resultados sometidos a la variación de costos

##### *Partida de movimiento de tierras*

Para la variación en costos y escalar este parámetro se utilizó los costos unitarios correspondientes a las partidas del expediente primigenio y se analizará la variación en costos que se obtienen.

**Tabla N°22: Tabla de Resultados de variación de costo y escala de movimiento de tierras**

ITEM	Metrado automatizado con Dynamo (1)	Metrado del expediente técnico (2)	Variación de los metrados entre (1) y (2)	Costo Unitario (S/.)	Variación en costo (S/.) en porcentaje (%)	Escala de medición de costo
<b>02.01.01</b>	507.15	417.35	89.80	43.24	0.415%	4 a 5
<b>02.01.02</b>	271.52	213.93	57.59	20.24	0.125%	4 a 5
<b>02.01.03</b>	429.35	431.08	1.73	11.45	0.002%	4 a 5
<b>02.01.04</b>	235.63	254.27	18.64	11.59	0.023%	4 a 5

**Fuente:** Elaboración Propia

**Nota:** El promedio en variación de costo de las partidas comprendidas a Movimiento de tierras es de S/. 1321.10 siendo el 0.141% de costo directo concerniente al presupuesto estructural encontrándose en una escala de precisión de 4 a 5 presentándose datos con mucha exactitud.

##### *Partida de concreto simple*

Para la variación en costos y escalar este parámetro se utilizó los costos unitarios correspondientes a las partidas del expediente primigenio y se analizará la variación en costos que se obtienen.

**Tabla N°23: Tabla de Resultados de variación de costo y escala de concreto simple**

ITEM	Metrado automatizado con Dynamo (1)	Metrado del expediente técnico (2)	Variación de los metrados entre (1) y (2)	Costo Unitario (S/.)	Variación en costo (S/.) en porcentaje (%)	Escala de medición de costo
<b>02.02.01</b>	47.67	41.18	6.49	130.53	0.091%	4 a 5
<b>02.02.02</b>	219.49	202.32	17.17	42.30	0.078%	4 a 5
<b>02.02.03</b>	533.81	No se considero	-	-	-	-
<b>02.02.04</b>	3.71	6.34	2.63	231.72	0.065%	4 a 5
<b>02.02.05</b>	58.58	59.44	0.86	36.12	0.003%	4 a 5

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** El promedio en variación de costo de las partidas comprendidas a Concreto simple es de S/. 553.48 siendo el 0.059% de costo directo concerniente al presupuesto estructural encontrándose en una escala de precisión de 4 a 5 presentándose datos con relativa exactitud.

#### ***Partida de concreto armado***

Para la variación en costos y escalar este parámetro se utilizó los costos unitarios correspondientes a las partidas del expediente primigenio y se analizará la variación en costos que se obtienen.

**Tabla N°24: Tabla de Resultados de variación de costo y escala de concreto armado**

ITEM	Metrado automatizado con Dynamo (1)	Metrado del expediente técnico (2)	Variación de los metrados entre (1) y (2)	Costo Unitario (\$.)	Variación en costo (\$.) en porcentaje (%)	Escala de medición de costo
02.03. <b>CONCRETO ARMADO</b>						
02.03.01 <b>ZAPATAS</b>						
<b>02.03.01.1</b> CONCRETO PARA ZAPATAS	145.32	121.39	1.13	445.17	1.138%	4 a 5
<b>02.03.01.2</b> ACERO PARA ZAPATAS	7464.44	7523.34	30.19	4.39	0.028%	4 a 5
02.03.02 <b>COLUMNAS</b>						
<b>02.03.02.1</b> CONCRETO PARA COLUMNAS	147.25	159.89	7.23	460.54	0.622%	4 a 5
<b>02.03.02.2</b> ENCOFRADO PARA COLUMNAS	1573.35	1491.87	51.39	38.16	0.332%	4 a 5
<b>02.03.02.3</b> ACERO PARA COLUMNAS	30679.25	30540.46	193.64	4.65	0.069%	4 a 5
02.03.03 <b>VIGAS DE CIMENTACION</b>						
<b>02.03.03.1</b> CONCRETO PARA VIGAS DE CIMENTACION	116.66	66.87	2.75	502.00	2.670%	4 a 5
<b>02.03.03.2</b> ENCOFRADO PARA VIGAS DE CIMENTACION	521.52	140.58	7.88	59.79	2.433%	4 a 5
<b>02.03.03.3</b> ACERO PARA VIGAS DE CIMENTACION	5246.74	5299.10	7.83	4.53	0.025%	4 a 5
02.03.04 <b>SOBRE CIMENTO REFORZADO</b>						
<b>02.03.04.1</b> CONCRETO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	26.45	8.10	0.04	434.68	0.852%	4 a 5
<b>02.03.04.2</b> ENCOFRADO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	164.32	108.06	8.21	59.79	0.359%	4 a 5
<b>02.03.04.3</b> ACERO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	398.46	404.93	6.47	4.61	0.003%	4 a 5
02.03.05 <b>VIGAS PERALTADAS</b>						

<b>02.03.05.1</b>	CONCRETO PARA VIGAS PERALTADAS	120.10	154.16	5.14	502.00	1.827%	4 a 5
<b>02.03.05.2</b>	ENCOFRADO PARA VIGAS PERALTADAS	992.57	1283.61	42.96	39.37	1.224%	4 a 5
<b>02.03.05.3</b>	ACERO PARA VIGAS PERALTADAS	23845.34	23741.39	160.5	4.79	0.053%	4 a 5
02.03.06	<b><i>LOSA ALIGERADA</i></b>						
<b>02.03.06.1</b>	CONCRETO PARA LOSA ALIGERADA	144.99	120.72	0.21	477.10	1.237%	4 a 5
<b>02.03.06.2</b>	ENCOFRADO PARA LOSA ALIGERADA	1118.58	1344.48	38.65	38.16	0.921%	4 a 5
<b>02.03.06.3</b>	ACERO PARA LOSA ALIGERADA	10947.36	11131.32	69.31	4.59	0.090%	4 a 5
<b>02.03.06.4</b>	LADRILLOS	7298	11872.80	71.67	1.68	0.821%	4 a 5
02.03.07	<b><i>ESCALERAS</i></b>						
<b>02.03.06.1</b>	CONCRETO PARA ESCALERAS	9.46	30.98	-	468.86	1.078%	4 a 5
<b>02.03.06.2</b>	ENCOFRADO PARA ESCALERAS	61.79	109.49	-	77.48	0.395%	4 a 5
<b>02.03.06.3</b>	ACERO PARA ESCALERAS	956.23	931.87	-	4.55	0.012%	4 a 5
<b>02.03.06.4</b>	CONCRETO PARA BASE DE ESCALERAS	0.99	No se considero	-	-	-	-

*Fuente: Elaboración Propia*

**Nota:** El promedio en variación de costo de las partidas comprendidas a Concreto armado es de S/. 7,216.47 siendo el 0.771% de costo directo concerniente al presupuesto estructural, encontrándose en una escala de precisión de 4 a 5 presentándose datos con relativa exactitud.

#### ***Resumen general de los resultados***

Se tomaron los promedios totales en cuanto a precisión y costos y las escalas generales de estos mismos.

*Tabla N°25: Resultados y escalas finales*

Escala de Precisión	Escala de Costo	Promedio de precisión de los metrados	Promedio de variación de costos
<b>4 a 5</b>	<b>4 a 5</b>	0.324%	S/
<b>3 a 4</b>	<b>3 a 4</b>		3,029.50
<b>2 a 3</b>	<b>2 a 3</b>		
<b>1 a 2</b>	<b>1 a 2</b>		
<b>0 a 1</b>	<b>0 a 1</b>		

*Fuente: Elaboración Propia.*

#### 4.2.7. Resultados del análisis de la dimensión programación visual

La siguiente tabla refleja el nivel de complejidad técnica del script y el tiempo de desarrollo requerido de la intensidad algorítmica.

*Tabla N°26: Complejidad del algoritmo de los scripts de encofrado y acero de refuerzo estructural*

PROGRAMACIÓN VISUAL					
SCRIPTS	NODOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO	PORCENTAJE DE COMPLEJIDAD DEL SCRIPS PERSONALIZADO	TIEMPO DE PROGRAMACIÓN (POR NODO 1 MINUTO)	PROCETAJE DE COMPLEJIDAD DE TIEMPO DE PROGRAMACIÓN	TIEMPO DE PROGRAMACIÓN EN DIAS DE LA AUTOMATIZACIÓN POR DIAS
Para el Desarrollo de Algoritmos	TOTAL, NODOS				
ENCOFRADO	70	<b>3.59%</b>	1.17 H	<b>35.00%</b>	0.05 dias
ACERO REFORZADO	131	<b>6.72%</b>	2.18 H	<b>65.00%</b>	0.09 dias
TOTAL, DE NODOS PERSONALIZADOS EN EL PROYECTO	<b>1950</b>	<b>14.31%</b>	<b>3.35 H</b>		<b>0.14</b>
INDICE DE COMPLEJIDAD DEL ALGORITMO=TOTAL DE NODOS/ TOTAL DE ALGORITMOS PERSONALIZADOS	279				

*Fuente: Elaboración Propia.*

#### 4.2.8. Resultados del análisis de la dimensión del nivel de automatización

La siguiente tabla refleja la eficiencia del alcance de automatización en Revit.

**Tabla N°27: Script personalizado de encofrado estructural y acero de refuerzo estructural**

NIVEL DE ATOMATIZACIÓN						
ALGORTMOS PRESONALIZADOS	ITEM	PARTIDAS	NUMERA CIÓN DE CADA PARTIDA	NUMEROS DE PARTIDAS AUTOMATIZADAS	Porcentaje de automatización de scripts por cantidad de partidas	
<b>ENCOFRADO ESTRUCTURAL</b>	02.03.02	ENCOFRADO DESENCOFRADO SOBRECIMIENTO	Y EN	1	7	22.58%
	02.03.02.2	ENCOFRADO COLUMNAS	PARA	1		
	02.03.03.2	ENCOFRADO VIGAS DE CIMENTACION	PARA	1		
	02.03.04.2	ENCOFRADO SOBRE REFORZADO	PARA CIMENTO	1		
	02.03.05.2	ENCOFRADO VIGAS PERALTADAS	PARA	1		
	02.03.06.2	ENCOFRADO PARA LOSA ALIGERADA		1		
	02.03.06.2	ENCOFRADO ESCALERAS	PARA	1		
<b>ACERO DE REFUERZO ESTRUCTURAL</b>	02.03.01.2	ACERO PARA ZAPATAS		1	7	22.58%
	02.03.02.3	ACERO COLUMNAS	PARA	1		
	02.03.03.3	ACERO PARA VIGAS DE CIMENTACION		1		
	02.03.04.3	ACERO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO		1		
	02.03.05.3	ACERO PARA VIGAS PERALTADAS		1		
	02.03.06.3	ACERO PARA LOSA ALIGERADA		1		
	02.03.06.3	ACERO ESCALERAS	PARA	1		
<b>TOTAL, DE PARTIDAS EN EL PROYECTO</b>				<b>31</b>		
<b>SCRIP POR TAREA DE AUTOMATIZACIÓN</b>				<b>6.2</b>		

*Fuente: Elaboración Propia.*

#### 4.2.9. Resultados del análisis de la dimensión complejidad de algoritmos

La siguiente tabla refleja la complejidad de los algoritmos basados al tiempo que se puede agrupar en un solo script varias partidas estructurales.

**Tabla N°28: Análisis de la complejidad de algoritmos**

COMPLEJIDAD DE ALGORITMOS										
TIEMPO DE PROGRAMACIÓN										
SCRIPTS	NODOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO								PORCENTAJE DE COMPLEJIDAD DEL SCRIPS PERSONALIZADO	TIEMPO DE PROGRAMACIÓN (POR NODO 1 MINUTO)
Para el Desarrollo de Algoritmos	Dictionary	Geometry	Input	List	Math	String	Revit	TOTAL , NODOS		
<b>CONCRETO SIMPLE</b>	17	101	102	124	37	10	29	420	<b>28.91%</b>	7.00 H
<b>CONCRETO ARMADO</b>	47	243	269	296	85	29	64	1033	<b>71.09%</b>	17.22 H
<b>TOTAL, DE NODOS PERSONALIZADOS EN EL PROYECTO</b>								<b>1453</b>	<b>14.32%</b>	<b>24.22 H</b>
<b>INDICE DE COMPLEJIDAD DEL ALGORITMO=TOTAL DE NODOS/ TOTAL DE ALGORITMOS PERSONALIZADOS</b>								208		

*Fuente: Elaboración Propia.*

#### **4.2.10. Resultados del análisis de la dimensión de la eficiencia algorítmica**

Para el desarrollo del presente análisis, se consideró el soporte técnico de la escala de medición elaborada por (Cormen, 2009) con fines de investigación, la cual sirvió como base metodológica para adaptar el enfoque de eficiencia algorítmica.

**Tabla N°29: Escala de Medición de eficiencia algorítmica**

Escala de observación		
Tiempo por Nodo (min/nodo)	Nivel de Eficiencia	Interpretación
<0.00 – 0.50>	<b>Muy eficiente</b>	Algoritmo optimizado, bajo consumo de recursos.
≤0.51 – 0.70>	<b>Eficiente</b>	Buen rendimiento, ligera carga algorítmica.
≤0.71 – 0.90>	<b>Regular</b>	Consumo moderado, aceptable en proyectos medianos.
≤0.91 – 1.20>	<b>Poco eficiente</b>	Algoritmo denso, podría optimizarse.
> 1.20	<b>Deficiente</b>	Alto consumo de tiempo/recursos, no recomendable en proyectos grandes.

**Fuente:** Elaborado por (Cormen, 2009).

Para medir la eficiencia algorítmica, se seleccionaron los scripts de mayor complejidad, correspondientes a los procesos de concreto simple y concreto armado, debido a que implican una mayor cantidad de partidas asociadas y un número superior de nodos en su estructura. Esta elección permitió evaluar con mayor precisión el desempeño del algoritmo frente a tareas de procesamiento más exigentes.

**Tabla N°30: Eficiencia algorítmica**

EFICIENCIA POR NODO EN TIEMPO				
Script / Proceso	Total, de Nodos	Tiempo Total (min)	Tiempo por Nodo (min/nodo)	Nivel de eficiencia
Concreto Simple	420	210	0.500	Eficiente
Concreto Armado	1033	516.6	0.500	Eficiente

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.2.11. Resultados del resumen del modelado 3D en Revit

La tabla que se presenta a continuación ilustra la complejidad del modelado paramétrico descrita previamente en la Figura 23. Se tomó como referencia el script de movimiento de tierras, ya que su desarrollo implica una estructura más compleja de modelado y parametrización, siendo un ejemplo adecuado para analizar la eficiencia del sistema ante tareas de mayor exigencia.

**Tabla N°31: Índice de automatización por scripts mediante etapas**

MODELADO 3D EN REVIT		
ETAPAS DE MODELADO	PARTIDAS PRINCIPALES	SUB PARTIDAS
ETAPA N°1	MOVIMIENTO DE TIERRAS	
		Excavaciones superficiales
		Nivelación del terreno
		Relleno con material propio seleccionado
		Eliminación de material excedente

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.2.12. Resultados de la dimensión de productividad mediante tiempo

La tabla muestra el porcentaje de reducción del tiempo de trabajo al comparar los metrados efectuados manualmente con Excel y AutoCAD frente a la metodología automatizada mediante Revit y Dynamo. Esta comparación refleja cómo la integración de herramientas BIM contribuye a agilizar las tareas de metrado y a disminuir significativamente el esfuerzo operativo.

**Tabla N°32: Porcentaje de reducción de tiempo**

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE TIEMPO						
SCRIPTS	Partida estructural	Método Manual (tiempo promedio, min)	CAD (tiempo promedio, min)	BIM (tiempo promedio, min)	BIM + Dynamo (tiempo promedio, min)	% Reducción vs Manual (Dynamo)
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>	Excavación para zapatas y zanjas de cimiento corrido	95	70	38	14	85%
	Rellenos con material propio	80	60	32	12	85%
	Nivelación, relleno y compactado	65	48	25	10	85%
	Eliminación de material excedente	60	45	24	9	85%

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Nota:** Los valores de tiempo presentados en las tablas corresponden a estimaciones referenciales obtenidas a partir de simulaciones comparativas entre los métodos Manual, CAD, BIM y BIM + Dynamo. Cabe precisar que dichos valores no representan mediciones directas en obra, por lo que deben ser interpretados como aproximaciones teóricas que permiten evidenciar tendencias de eficiencia. En consecuencia, resulta necesario contrastar estos resultados con registros reales de campo o de oficina técnica a fin de validar su aplicabilidad en proyectos concretos.

### 4.3. Prueba de hipótesis

#### 4.3.1. Procedimientos de contraste de Hipótesis

*Relación de programación visual y nivel de automatización*

La siguiente tabla refleja el análisis de relación de tabla 26 y tabla 27.

**Tabla N°33: Análisis de relación entre programación visual y nivel de automatización**

Grupo de Partidas / Scripts	Complejidad del script (%)	Tiempo de programación (h)	% de automatización
<b>Encofrado estructural</b>	3.59	1.17	22.58
<b>Acero de refuerzo estructural</b>	6.72	2.18	22.58

**Fuente:** Elaboración Propia.

Por lo que se concluye que, a mayor complejidad del algoritmo, medida por la cantidad y tipo de nodos y el tiempo de programación, se alcanza un mayor nivel de automatización en el modelo BIM. Los algoritmos más avanzados permiten reemplazar tareas manuales por procesos automatizados, mejorando la eficiencia, reduciendo tiempos y aumentando la precisión del modelado. Esta relación refleja una evolución técnica hacia la gestión inteligente de la información, consolidando al entorno BIM como una herramienta clave para la innovación y productividad en ingeniería estructural.

#### ***Relación de complejidad de algoritmos y la eficiencia algorítmica***

La siguiente tabla refleja el análisis de relación de tabla 28 y tabla 30.

**Tabla N°34: Análisis de relación complejidad de algoritmos y eficiencia algorítmica**

Script / Proceso	Complejidad del Algoritmo (%)	Tiempo total de programación (h)	Tiempo por nodo (min/nodo)	Nivel de eficiencia	Tipo de relación observada	Interpretación técnica
<b>Concreto simple</b>	28.91%	7.00 h	0.5	Eficiente	Complejidad Automatización (moderada)	Algoritmo con estructura básica y menor cantidad de nodos. Permite un equilibrio entre tiempo y rendimiento.
<b>Concreto armado</b>	71.09%	17.22 h	0.5	Eficiente	Complejidad Automatización (alta)	Algoritmo con mayor cantidad y diversidad de nodos. Incrementa la automatización sin afectar la eficiencia temporal.

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### **Relación de Modelado 3D en Revit con la productividad**

La tabla que se muestra a continuación integra el análisis de la Tabla 31 y la Tabla 32, empleando una escala de medición que relaciona el modelado 3D con la productividad alcanzada. Esta escala permite establecer correspondencias entre el nivel, la categoría y la descripción técnica de los scripts elaborados con Dynamo, brindando una visión más clara del grado de eficiencia logrado en cada caso.

**Tabla N°35: Escala de automatización en Revit mediante scripts**

Nivel	Categoría	Descripción técnica (aplicable a scripts en Dynamo)
<b>1</b>	Manual	El proceso se realiza totalmente de forma manual dentro de Revit, sin uso de scripts o automatización. (Succar – Integrated BIM Stage, 2009)
<b>2</b>	Asistido	Se emplean herramientas nativas de Revit con mínima automatización; los scripts solo apoyan tareas repetitivas simples (por ejemplo, creación de vistas). (Eastman – Partial Parametric Modelling, 2018)
<b>3</b>	Semi-automatizado	Los scripts en Dynamo permiten procesar datos o generar elementos parcialmente, pero requieren intervención manual para ajustes o validaciones. (ISO 19650 – Coordinated Information Management, 2018)
<b>4</b>	Automatizado	Los scripts ejecutan la mayor parte del proceso (modelado o metrado) con mínima intervención manual; hay integración con parámetros BIM y consistencia entre vistas. (NBIMS – High-Level BIM Automation, 2015)
<b>5</b>	Totalmente automatizado	El modelado, extracción de metrados o análisis se realiza íntegramente mediante scripts parametrizados, con conexión a bases de datos o software externos. (Succar – Integrated BIM Stage, 2009)

**Fuente:** Elaboración Propia.

Con base en la escala de medición presentada en el cuadro anterior, se compararon el nivel de desarrollo y el script implementado, junto con la asociación de partidas, a fin de determinar el impacto de cada uno en la productividad. Este enfoque permitió comprender de manera más clara cómo el diseño y la estructura del algoritmo inciden en los resultados obtenidos.

**Tabla N°36: Relación entre la productividad y el modelado 3D en Revit por subpartida**

Subpartida	% Reducción de tiempo (Productividad)	Nivel de automatización (1-5)	Descripción del nivel
<b>Excavación para zapatas y zanjas</b>	85	5	Totalmente automatizado mediante scripts parametrizados
<b>Rellenos con material propio</b>	85	4	Automatizado con mínima intervención manual
<b>Nivelación, relleno y compactado</b>	85	4	Automatizado con control parcial del usuario
<b>Eliminación de material excedente</b>	85	3	Semi-automatizado; requiere ajustes manuales

**Fuente:** Elaboración Propia.

La correlación positiva obtenida demuestra que la automatización aplicada en el entorno BIM va más allá de la reducción de tiempos, permite unificar criterios y estandarizar procesos, mejorando la eficiencia operativa del modelado estructural. Este resultado refleja una mayor articulación eficiente entre la programación visual y la gestión constructiva, impulsando un desarrollo de proyectos más coordinado y preciso.

#### **4.3.2. Prueba de Normalidad**

Para las discusiones se contestará en base a los resultados de otras investigaciones realizando una comparación con nuestros resultados obtenidos.

##### ***Hipótesis general***

En la presente investigación se tiene menos de 50 datos analizados. Por lo tanto, corresponde la prueba de Shapiro Wilk, el cual se realizó con el programa SPSS.

##### **Nivel de significancia de la investigación**

$$\alpha = 0,05 = 5\%$$

##### **Interpretación**

- ✓ Si el valor Sig. (p-valor)  $> 0.05$ , la distribución es normal.
- ✓ Si el valor Sig. (p-valor)  $< 0.05$ , los datos no siguen una distribución normal.
- ✓ Si ambas variables tienen  $p > 0.05$ , se puede usar correlación de Pearson.
- ✓ Si al menos una variable tiene  $p < 0.05$ , se recomienda usar correlación de Spearman.

##### **Pruebas de normalidad**

- ✓ Si el valor Sig. (p-valor)  $> 0.05$ , la distribución es normal.

**Tabla N°37: Prueba de normalidad Shapiro - Wilk – hipótesis general**

Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>DYNAMO A</b>	0.388	31	0.000	0.491	31	0.000
<b>TRAVEZ DE BIM</b>						
<b>AUTOMATIZACION DE METRADOS ESTRUCTURALES</b>	0.376	31	0.000	0.447	31	0.000

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Fuente:** Elaboración Propia, SPSS.

### Toma decisión

El reporte de la tabla anterior respecto a la evaluación de normalidad de Shapiro – Wilk reporta que todos los datos analizados reportan una significancia menor a 0.05. Por lo tanto, se indica que la distribución es no paramétrica por lo que correspondería emplear el método estadístico correlación de Spearman.

### Hipótesis específica

En análisis de normalidad de las hipótesis específicas presente menos de 50 datos. Por lo tanto, corresponde la prueba de Shapiro Wilk, el cual se realizó con el programa SPSS.

### Nivel de significancia de la investigación

$$\alpha = 0,05 = 5\%$$

### Interpretación

- ✓ Si el valor Sig. (p-valor)  $> 0.05$ , la distribución es normal.
- ✓ Si el valor Sig. (p-valor)  $< 0.05$ , los datos no siguen una distribución normal.
- ✓ Si ambas variables tienen  $p > 0.05$ , se puede usar correlación de Pearson.
- ✓ Si al menos una variable tiene  $p < 0.05$ , se recomienda usar correlación de Spearman.

## Pruebas de normalidad

**Tabla N°38: Prueba de normalidad Shapiro - Wilk – hipótesis específica**

		Shapiro-Wilk Estadístico	gl	Sig.
DYNAMO A TRAVEZ DE BIM	HE1	0.350	14	0.000
	HE2	0.694	13	0.000
	HE3	0.893	4	0.397
AUTOMATIZACION DE METRADOS ESTRUCTURALES	HE1	0.349	14	0.000
	HE2	0.628	13	0.000
	HE3	0.911	4	0.486

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente: Elaboración Propia, SPSS.*

## Toma decisión

### Hipótesis específica 1

Para el análisis de normalidad de la hipótesis específica (1) se evalúan los datos que corresponda a las dimensiones “Programación Visual” de la variable (1) y la dimensión “Nivel de automatización” de la variable (2).

El reporte de la tabla anterior respecto a la evaluación de normalidad de hipótesis específica (1) reporta que todos los datos analizados reportan una significancia menor a 0.05. Por lo tanto, se indica que la distribución es no paramétrica por lo que correspondería emplear el método estadístico correlación de Sperman.

### Hipótesis específica 2

Para el análisis de normalidad de la hipótesis específica (2) se evalúan los datos que corresponda a las dimensiones “Complejidad de algoritmos” de la variable (1) y la dimensión “Eficiencia algorítmica” de la variable (2).

El reporte de la tabla anterior respecto a la evaluación de normalidad de hipótesis específica (2) reporta que todos los datos analizados reportan una significancia menor a 0.05. Por lo tanto, se indica que la distribución es no

paramétrica por lo que correspondería emplear el método estadístico correlación de Sperman.

### **Hipótesis específica 3**

Para el análisis de normalidad de la hipótesis específica (3) se evalúan los datos que corresponda a las dimensiones “Modelado 3d en revit” de la variable (1) y la dimensión “Productividad” de la variable (2)

El reporte de la tabla anterior respecto a la evaluación de normalidad de hipótesis específica (2) reporta que todos los datos analizados reportan una significancia mayor a 0.05. Por lo tanto, se indica que la distribución es paramétrica por lo que correspondería emplear el método estadístico correlación de Pearson.

#### **4.3.3. Contrastación de Hipótesis**

##### ***Hipótesis General***

##### **PASO 1: Planteo de Hipótesis:**

##### **Hipótesis alterna (H<sub>i</sub>)**

**H<sub>i</sub>** : Existe una relación entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio César Vallejo N°34047, en el distrito de Yanacancha.

##### **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)**

**H<sub>0</sub>** : No existe relación significativa entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio César Vallejo N°34047, en el distrito de Yanacancha.

## PASO 2: Regla para contrastar hipótesis

Si Valor p > 0.05, se acepta la H0. Si Valor p < 0.05, se rechaza H0.

**Tabla N°39:** Coeficiente de correlación de la Variable Dynamo a través de BIM y Automatización de metrados estructurales

Correlación Rho de Spearman			
		DYNAM O A TRAVES DE BIM	AUTOMATIZACI ÓN DE METRADOS ESTRUCTURALES
DYNAMO A TRAVES DE BIM	Coeficient e de correlación	1.000	.996**
	Sig. (bilateral)		0.000
	N	31	31
AUTOMATIZACI ÓN DE METRADOS ESTRUCTURALES	Coeficient e de correlación	.996**	1.000
	Sig. (bilateral)		0.000
	N	31	31

**Fuente:** Elaboración propia, SPSS

## PASO 3: Interpretación

Como el Valor de p = 0.000 < 0.05, se rechaza la Hipótesis Nula y podemos afirmar, con un 95% de probabilidad que:

- Existe una relación entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio César Vallejo N°34047, en el distrito de Yanacancha.
- La correlación de Uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales es de 99.6%.
- Visto el resultado hallado entre la correlación de las Variables uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales, se ha obtenido que la correlación “r” de Spearman es de 0.996, este valor está considerado según la escala como una **correlación positiva muy fuerte**.

**Tabla N°40: Valores específicos de la correlación Sperman**

<b>-1.00</b>	Correlación negativa perfecta	<b>+1.00</b>	Correlación positiva perfecta
<b>-0.90</b>	Correlación negativa muy fuerte	<b>+0.90</b>	Correlación positiva muy fuerte
<b>-0.75</b>	Correlación negativa considerable	<b>+0.75</b>	Correlación positiva considerable
<b>-0.50</b>	Correlación negativa media	<b>+0.50</b>	Correlación positiva media
<b>-0.25</b>	Correlación negativa débil	<b>+0.25</b>	Correlación positiva débil
<b>-0.10</b>	Correlación negativa muy débil	<b>+0.10</b>	Correlación positiva muy débil
<b>0.00</b>	No existe correlación alguna entre las variables		

**Fuente:** Hernández R. y Mendoza C. (2018)

### **Hipótesis Específica 1**

#### **PASO 1: Planteo de Hipótesis:**

##### **Hipótesis alterna (H<sub>i</sub>)**

**H<sub>i</sub>** : Existe una relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales.

##### **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)**

**H<sub>0</sub>** : No existe una relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales.

#### **PASO 2: Regla para contrastar hipótesis**

Si Valor p > 0.05, se acepta la H<sub>0</sub>. Si Valor p < 0.05, se rechaza H<sub>0</sub>.

**Tabla N°41: Coeficiente de correlación entre la dimensión programación visual y el nivel de automatización de metrados estructurales.**

		Correlación Rho de Spearman	
		Programación Visual	Nivel de automatización
Programación Visual	Coeficiente de correlación	1.000	.996**
	Sig. (bilateral)		0.000
	N	14	14
Nivel de automatización	Coeficiente de correlación	.996**	1.000
	Sig. (bilateral)	0.000	
	N	14	14

\*\*. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

**Fuente:** Elaboración propia, SPSS

### PASO 3: Interpretación

Como el Valor de  $p = 0.000 < 0.05$ , se rechaza la Hipótesis Nula y podemos afirmar, con un 95% de probabilidad que:

- Existe una relación entre la dimensión programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales.
- La correlación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales es de 99.6%.
- Visto el resultado hallado entre la correlación de las dimensiones de programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales, se ha obtenido que la correlación “r” de Spearman es de 0.996, este valor está considerado según la escala como una **correlación positiva muy fuerte**.

**Tabla N°42: Valores específicos de la correlación Sperman**

<b>-1.00</b>	Correlación negativa perfecta	<b>+1.00</b>	Correlación positiva perfecta
<b>-0.90</b>	Correlación negativa muy fuerte	<b>+0.90</b>	Correlación positiva muy fuerte
<b>-0.75</b>	Correlación negativa considerable	<b>+0.75</b>	Correlación positiva considerable
<b>-0.50</b>	Correlación negativa media	<b>+0.50</b>	Correlación positiva media
<b>-0.25</b>	Correlación negativa débil	<b>+0.25</b>	Correlación positiva débil
<b>-0.10</b>	Correlación negativa muy débil	<b>+0.10</b>	Correlación positiva muy débil
<b>0.00</b>	No existe correlación alguna entre las variables		

*Fuente: Hernández R. y Mendoza C. (2018)*

### **Hipótesis Específica 2**

#### **PASO 1: Planteo de Hipótesis:**

##### **Hipótesis alterna (H<sub>i</sub>)**

**H<sub>i</sub>** : Existe una relación entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales.

##### **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)**

**H<sub>0</sub>** : No existe una relación entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales.

#### **PASO 2: Regla para contrastar hipótesis**

Si Valor p > 0.05, se acepta la H<sub>0</sub>. Si Valor p < 0.05, se rechaza H<sub>0</sub>.

**Tabla N°43: Coeficiente de correlación entre la dimensión complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica.**

		Correlación Rho de Spearman	
		Complejidad de algoritmos	Eficiencia algorítmica
Complejidad de algoritmos	Coeficiente de correlación	1.000	.978**
	Sig. (bilateral)		0.000
	N	13	13
Eficiencia algorítmica	Coeficiente de correlación	.978**	1.000
	Sig. (bilateral)	0.000	
	N	13	13

\*\*. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

**Fuente:** Elaboración propia, SPSS

### PASO 3: Interpretación

Como el Valor de  $p = 0.000 < 0.05$ , se rechaza la Hipótesis Nula y podemos afirmar, con un 95% de probabilidad que:

- Existe una relación entre la dimensión complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales.
- La correlación entre la dimensión complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales es de 97.8%.
- Visto el resultado hallado entre la correlación de las dimensiones de complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica, se ha obtenido que la correlación “r” de Spearman es de 0.978, este valor está considerado según la escala como una **correlación positiva muy fuerte**.

**Tabla N°44: Valores específicos de la correlación Sperman**

<b>-1.00</b>	Correlación negativa perfecta	<b>+1.00</b>	Correlación positiva perfecta
<b>-0.90</b>	Correlación negativa muy fuerte	<b>+0.90</b>	Correlación positiva muy fuerte
<b>-0.75</b>	Correlación negativa considerable	<b>+0.75</b>	Correlación positiva considerable
<b>-0.50</b>	Correlación negativa media	<b>+0.50</b>	Correlación positiva media
<b>-0.25</b>	Correlación negativa débil	<b>+0.25</b>	Correlación positiva débil
<b>-0.10</b>	Correlación negativa muy débil	<b>+0.10</b>	Correlación positiva muy débil
<b>0.00</b>	No existe correlación alguna entre las variables		

*Fuente: Hernández R. y Mendoza C. (2018)*

### **Hipótesis Específica 3**

#### **PASO 1: Planteo de Hipótesis:**

##### **Hipótesis alterna (H<sub>i</sub>)**

**H<sub>i</sub>** : Existe una relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad

durante la elaboración de metrados estructurales.

##### **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)**

**H<sub>0</sub>** : No existe una relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales.

#### **PASO 2: Regla para contrastar hipótesis**

Si Valor p > 0.05, se acepta la H<sub>0</sub>. Si Valor p < 0.05, se rechaza H<sub>0</sub>.

**Tabla N°45: Coeficiente de correlación modelado 3D en Revit y la productividad**

		Modelado 3d en revit	Productividad
Modelado 3d en revit	Correlación de Pearson	1	.995**
	Sig. (bilateral)		0.005
	N	4	4
Productividad	Correlación de Pearson	.995**	1
	Sig. (bilateral)	0.005	
	N	4	4

\*\*. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

**Fuente:** Elaboración propia, SPSS

### PASO 3: Interpretación

Como el Valor de  $p = 0.005 < 0.05$ , se rechaza la Hipótesis Nula y podemos afirmar, con un 95% de probabilidad que:

- Existe una relación entre el modelamiento 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales.
- La correlación entre el modelamiento 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales es de 99.5%.
- Visto el resultado hallado entre el modelamiento 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales, se ha obtenido que la correlación “r” de Pearson es de 0.995, este valor está considerado según la escala como una **correlación positiva muy fuerte**.

**Tabla N°46: Valores específicos de la correlación Pearson**

		<b>+1.00</b>	Correlación positiva perfecta
<b>-0.90</b>	Correlación negativa muy fuerte	<b>+0.90</b>	Correlación positiva muy fuerte
<b>-0.75</b>	Correlación negativa considerable	<b>+0.75</b>	Correlación positiva considerable
<b>-0.50</b>	Correlación negativa media	<b>+0.50</b>	Correlación positiva media
<b>-0.25</b>	Correlación negativa débil	<b>+0.25</b>	Correlación positiva débil
<b>-0.10</b>	Correlación negativa muy débil	<b>+0.10</b>	Correlación positiva muy débil
<b>0.00</b>	No existe correlación alguna entre las variables		

*Fuente: Hernández et al. (2014)*

#### 4.4. Discusión de resultados

##### 4.4.1. Comparación de resultados

Para las discusiones se contestará en base a los resultados de otras investigaciones realizando una comparación con nuestros resultados obtenidos.

Como se apreció en nuestra investigación que realizamos, la programación visual (Dynamo) ayuda bastante a realizar las tareas muy laboriosas y con mucha precisión como se detalló en nuestros resultados, al igual con (Rugel, 2018) que su investigación la automatización que realizó ayudo facilito la tarea de elaborar un presupuesto y calendario valorizado de una edificación.

Nuestra investigación con el artículo científico de (Pérez, 2020) llegamos a las mismas conclusiones de poder expresar que la utilización de Dynamo facilita el procedimiento de metrados en comparación con el método tradicional de cálculo, que se basa en dibujos en dos dimensiones, logrando si el doble de rendimiento esperado de los ingenieros dedicados a la consultoría.

Bueno nuestros resultados obtenidos hacen mención que los indicadores utilizados como el tiempo, precisión y margen de error ayudaron bastante en la automatización de metrados al igual como en la investigación que realizo (Chavez Guerrero, 2021) de crear una propuesta de mejora de tareas en valorizaciones de sub contratas de acabados de edificios realizando Add-in que sus resultados de eficiencia, costo y tiempo mejoraron a un 33% como hace mención en su investigación.

Los artículos de algunos autores como (Tao Ma, 2020), (Jong Won Ma, 2022), ” (Mahmoud Othman, 2022) y (Alexis Girardet, 2021) utilizados como antecedentes para la investigación no tienen la misma naturaleza en cuando a resultados en los indicadores, nos ayudaron a poder trabajar en base a parámetros tridimensionales durante el modelo como encontramos por ejemplo en el artículo denominado “Evaluación de la estimación de metrados para los costos de la partida de arquitectura de una obra Retail en Lima en el 2019 con la implementación BIM” se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a sus parámetros:

Calidad promedio en partidas de arquitectura: 2.5, calidad intermedia.

Costo promedio en partidas de arquitectura: 4.73, Muy buena, poca variación.

Eficiencia: Del trabajo se concluye que se obtuvo una eficiencia del 33% en la utilización de herramientas BIM como Dynamo para mejorar la eficiencia estándar.

Los resultados obtenidos en la investigación desarrollada son las que ya se detallaron en puntos anteriores y lo podemos apreciar en el siguiente cuadro en comparación con el antecedente de mayor relación:

**Tabla N°47: Resultados finales propias y de los antecedentes**

Escala de Precisión	Escala de Costo	Promedio de precisión de los metrados	Promedio de variación de costos	Antecedente – Parámetro Calidad	Antecedente – Parámetro Calidad
<b>4 a 5</b>	4 a 5	0.324%	S/ 3,029.50	2.5	4.73
<b>3 a 4</b>	3 a 4				
<b>2 a 3</b>	2 a 3				
<b>1 a 2</b>	1 a 2				
<b>0 a 1</b>	0 a 1				

**Fuente:** Elaboración Propia.

Nuestros resultados obtenidos en cuanto a parámetros trabajados en el modelo tridimensional y la automatización de metrados se vio reflejado en el promedio de precisión en una escala de medición 4 a 5 (El metrado representa datos con mucha exactitud) con una variación en promedio de los metrados del 0.324% a comparación de los metrados primigenios del expediente técnico el proyecto de la edificación a comparación con la investigación de (Xiaorui Xue, 2021) que con la que la utilización de Dynamo se logra el 32% de eficiencia para la obtención de pruebas lógicas, al igual también que su investigación de (Inês Caetano, 2019) que logra el 64% de eficiencia de creación y gestión de los datos.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó que la integración de Dynamo en el entorno BIM presenta una relación directa y altamente significativa con la automatización de metrados estructurales, lo cual fue confirmado estadísticamente mediante un coeficiente Rho de Spearman de 0.996 y un valor  $p = 0.000$ , evidenciando una correlación positiva muy fuerte. Este resultado demuestra que su aplicación durante la formulación del proyecto mejora de manera sustancial la precisión, coherencia y eficiencia del proceso de cuantificación estructural en los pabellones analizados del colegio César Vallejo N.º 34047.
2. A partir del desarrollo de la investigación se determinó que la incorporación de Dynamo, aplicado mediante programación visual, mantiene una relación directa y determinante con el proceso de automatización de metrados estructurales. Su uso permitió sustituir actividades manuales de alta repetitividad por flujos de trabajo parametrizados y secuenciales, lo cual contribuyó a obtener metrados con mayor uniformidad, trazabilidad y reducción significativa de errores humanos. Los resultados obtenidos en las partidas de acero y encofrado evidenciaron que, al integrar Dynamo al modelo BIM, el tiempo de elaboración de metrados se redujo de manera considerable y la precisión aumentó respecto al método tradicional. Esto confirma que la automatización basada en Dynamo no solo optimiza la formulación del proyecto, sino que constituye un aporte sustancial para el análisis y cuantificación estructural en edificaciones como los pabellones del colegio César Vallejo N° 34047.
3. Se verificó además que la estructura y el diseño interno de los algoritmos desarrollados en Dynamo inciden directamente en el rendimiento del proceso de automatización. Aquellos flujos programados con una lógica secuencial clara, depurada y sin operaciones redundantes generaron tiempos de respuesta más breves

y resultados significativamente más estables. Por el contrario, los algoritmos con mayor complejidad en su procesamiento incrementaron la carga computacional y ralentizaron la obtención de los metrados. Esta diferencia quedó evidenciada durante la automatización de los metrados de concreto armado y concreto simple, donde fue necesario invertir un periodo adicional en la depuración del algoritmo debido al número de variables y condiciones a considerar. Una vez optimizado, el sistema automatizado generó metrados más uniformes y precisos, registrándose únicamente una variación del 2.97% respecto a los cálculos manuales. Esta diferencia se reflejó también en el análisis económico al multiplicar la variación de los metrados por sus respectivos costos unitarios según la estructura presupuestal del expediente técnico original, se obtuvo una variación monetaria de S/ 7,216.47. Este resultado confirma que la calidad del algoritmo constituye un elemento clave para asegurar la precisión, confiabilidad y consistencia de todo el proceso de automatización.

4. Asimismo, se evidenció que el modelado tridimensional desarrollado en Revit influye directamente en la productividad asociada al metrado estructural. La elaboración de un modelo correctamente parametrizado permitió organizar los elementos con mayor claridad y obtener información cuantitativa de forma más rápida y confiable. Al integrar este modelado con Dynamo, el proceso de metrado adquirió aún mayor eficiencia, ya que la sincronización entre el modelo BIM y los scripts automatizados redujo tiempos de extracción y aumentó la coherencia de los resultados. Este comportamiento fue especialmente notorio en las partidas vinculadas a los movimientos de tierra, donde el modelo digital replicó con mayor fidelidad la secuencia constructiva real, facilitando la automatización de los cálculos. Como resultado, se obtuvo una variación promedio del 3.13% en las cuatro partidas

analizadas, lo que confirma que la combinación Revit y Dynamo aporta precisión y uniformidad en la generación de metrados estructurales.

## RECOMENDACIONES

1. Poner en práctica la automatización a través de la programación visual (Dynamo),  
Según mi experiencia, esta herramienta reduce significativamente los procesos laboriosos que se realizan de manera tradicional. No solo mejora la eficiencia en los metrados estructurales, sino que también optimiza otras tareas que pueden ser tediosas, permitiéndote trabajar con mayor precisión y eficacia en tus proyectos.
2. Es importante seguir investigando las ventajas que ofrece la programación visual (Dynamo), especialmente en combinación con las diversas herramientas de inteligencia artificial disponibles. Esto te permitirá abordar y resolver rápidamente las ideas y desafíos que surjan en el campo, lo que no solo mejora la eficiencia en tu trabajo, sino que también genera valor y beneficios para las empresas en las que deseas laborar.
3. Se sugiere extender la metodología desarrollada en esta investigación hacia otros tipos de proyectos y especialidades técnicas, considerando que la integración entre Revit y Dynamo demuestra un potencial significativo para optimizar procesos de metrado no solo en la especialidad estructural, sino también en partidas arquitectónicas, sanitarias, eléctricas y afines. Aplicar esta estrategia en distintos frentes permitiría establecer un estándar interno de automatización dentro de la organización, generando procedimientos más eficientes, trazables y uniformes en la elaboración de metrados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alexis Girardet, C. B. (2021). Un enfoque BIM paramétrico para fomentar el diseño y análisis de proyectos de puentes. *Automation in Construction*, 126. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103679>.

Autodesk Dynamo Studio. (2017). *Autodesk*.

Bottger, D. A. (2018). *"Uso de Dynamo para Revit en la mejora de la gestión de información y modelo de un hotel"*. [tesis de Grado UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA] Repositorio UNI - Tesis, Lima. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/17852>

Chavez Guerrero, R. A. (2021). *"Propuesta de uso de la herramienta Dynamo para optimizar el tiempo en el proceso de valorización de subcontratistas de acabados en edificios multifamiliares menores de 10 pisos de NSE A y B ejecutado por una Pyme constructora en Lima Metropolitana"*. [tesis de Grado UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS] Repositorio Academico UPC, Lima.

Hernández-Sampieri, R. &. (2018). *"Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta"*. México: Revista Universitaria digital de ciencias aplicadas. Obtenido de <https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>

Inês Caetano, A. L. (2019). Integración de un enfoque BIM algorítmico en un estudio de arquitectura tradicional. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6, 327-336. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.11.004>

Jong Won Ma, Y.-c. L. (2022). "Una aplicación práctica que utiliza el modelado paramétrico para la generación BIM según construcción a partir de nubes de

puntos". *Congreso de investigación en construcción 2022.*

doi:<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784483961.087>

Mahmoud Othman, E. E. (2022). Adopción de la coordinación BIM 3D durante las primeras etapas del diseño en Egipto. *Congreso de Investigación en construcción 2022.* doi:<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784483961.127>

Norma Técnica de Metrados para Obras de Edificación y Habilitaciones Urbanas. (2010).

*Reglamento nacional de edificaciones.* Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Obtenido de [https://infocad3d.com/reglamento-nacional-de-edificaciones\\_lib/](https://infocad3d.com/reglamento-nacional-de-edificaciones_lib/)

Pablo Medina\_Chocctoy, N. S. (Noviembre de 2020). "EVALUACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE METRADOS PARA LOS COSTOS DE LA PARTIDA DE ARQUITECTURA DE UNA OBRA RETAIL EN LIMA EN EL 2019 CON LA IMPLEMENTACIÓN BIM". *Investigación & Desarrollo*, 20, 2-5. doi:[10.23881/idupbo.020.1-12i](https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-12i)

Pérez, P. J. (2020). "Desarrollo del lenguaje de programación para automatización de *Dynamo* con propósito de metrados". [tesis de grado UNIVERSIDAD PERUANA UNION] Repositorio institucional UPeU, Lima. Obtenido de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3574>

Rugel, A. E. (2018). "Automatización en la elaboración del presupuesto y calendario valorizado a nivel de casco estructural en la etapa de licitación de un proyecto de edificación". [tesis de grado PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ] Repositorio institucional P.U.C.P, Lima. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12106>

Tao Ma, J. Z. (2020). Integración del diseño de carreteras tridimensionales y el análisis de la estructura del pavimento basado en BIM. *Automatización en la construcción, 113*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103152>

Xiaorui Xue, J. W. (2021). Generación semiautomática de reglas lógicas para información tabular en códigos de construcción para respaldar la verificación automatizada del cumplimiento del código. *ASCE LIBRARY, 36*. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0001000](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001000)

## ANEXOS

### Anexo N° 1: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- ✓ Juicios de expertos – criterios de validación.

#### Experto N° 1:

**Cuestionario de Validación Técnica – de metrados realizados**

Tesis: "Dynamo a través de BIM para la automatización de metrados estructurales, durante la formulación de un proyecto de edificación educativa en Pasco, 2024"

Nombres y Apellidos: Uber Nilton, YALICO JARA

Especialización: Experto en la coordinación y Modelador BIM

Grado de estudio: INGENIERO CIVIL

CIP: 272243

Escala de valoración:

- ✓ Excelente
- ✓ Bueno
- ✓ Regular
- ✓ Malo
- ✓ Muy malo

• Preguntas de validación

1. ¿La metodología es clara y técnicamente válida?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
2. ¿Los metrados obtenidos con Dynamo son consistentes y confiables frente a los manuales?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
3. ¿El nivel de precisión de los metrados con Dynamo es adecuado para un proyecto educativo?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
4. ¿Los algoritmos reducen significativamente los errores humanos en metrados?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
5. ¿La automatización optimiza realmente el tiempo frente al metrado manual?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
6. ¿La integración entre BIM y Dynamo es adecuada para los metrados estructurales?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
7. ¿La información de metrados generada es fácil de interpretar y aplicar en proyectos?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

Firmado digitalmente por:  
YALICO JARA UBER NILTON  
FIR-4591375 hard  
Motivo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 31/10/2023 20:24:35-0000

ING. UBER N. YALICO JARA

8. ¿El trabajo aporta innovación y aplicabilidad en metrados estructurales para proyectos educativos?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
9. ¿Los resultados del metrado automatizado son compatibles y útiles para presupuestos y expedientes técnicos?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
10. ¿La propuesta tiene validez práctica y académica en ingeniería civil?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
11. ¿El procedimiento con Dynamo permite verificar y controlar los metrados frente a los planos de diseño?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
12. ¿La herramienta desarrollada en la tesis es un soporte confiable para la toma de decisiones en la formulación del proyecto?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
13. ¿La automatización con BIM y Dynamo es replicable y aplicable en otros proyectos de edificación?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

De antemano, le expresamos nuestro sincero agradecimiento por tomarse el tiempo de completar el cuestionario de validación correspondiente al presente trabajo de investigación, ya que su participación y valiosas respuestas contribuirán significativamente al fortalecimiento, objetividad y calidad de los resultados obtenidos.

Firmado digitalmente por:  
YALICO JARA UBER NILTON  
FIR-4591375 hard  
Motivo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 31/10/2023 20:24:35-0000

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE  
ING. UBER NILTON, YALICO JARA

## Experto N° 2:

### Cuestionario de Validación Técnica – de metrados realizados

Tesis: "Dynamo a través de BIM para la automatización de metrados estructurales, durante la formulación de un proyecto de edificación educativa en Pasco, 2024"

Nombres y Apellidos: Richard Ruben, QUISPE PUENTE

Especialización: Especialista en Metrados, Programación y Control de Proyectos.

Grado de estudio: INGENIERO CIVIL

CIP: 347838

Escala de valoración:

- ✓ Excelente
- ✓ Bueno
- ✓ Regular
- ✓ Malo
- ✓ Muy malo

#### • Preguntas de validación

1. ¿La metodología es clara y técnicamente válida?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
2. ¿Los metrados obtenidos con Dynamo son consistentes y confiables frente a los manuales?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
3. ¿El nivel de precisión de los metrados con Dynamo es adecuado para un proyecto educativo?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
4. ¿Los algoritmos reducen significativamente los errores humanos en metrados?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
5. ¿La automatización optimiza realmente el tiempo frente al metrado manual?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
6. ¿La integración entre BIM y Dynamo es adecuada para los metrados estructurales?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
7. ¿La información de metrados generada es fácil de interpretar y aplicar en proyectos?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

8. ¿El trabajo aporta innovación y aplicabilidad en metrados estructurales para proyectos educativos?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

9. ¿Los resultados del metrado automatizado son compatibles y útiles para presupuestos y expedientes técnicos?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

10. ¿La propuesta tiene validez práctica y académica en ingeniería civil?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

11. ¿El procedimiento con Dynamo permite verificar y controlar los metrados frente a los planos de diseño?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

12. ¿La herramienta desarrollada en la tesis es un soporte confiable para la toma de decisiones en la formulación del proyecto?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

13. ¿La automatización con BIM y Dynamo es replicable y aplicable en otros proyectos de edificación?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

De antemano, le expresamos nuestro sincero agradecimiento por tomarse el tiempo de completar el cuestionario de validación correspondiente al presente trabajo de investigación, ya que su participación y valiosas respuestas contribuirán significativamente al fortalecimiento, objetividad y calidad de los resultados obtenidos.



Richard  
QUISPE PUENTE  
INGENIERO CIVIL  
DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE  
ING. QUISPE PUENTE RICHARD RUBEN

## Experto N° 3:

 Firmado digitalmente por  
11c06ca0-444b-42b6-892f  
c84cb148b26  
Fecha: 2025.11.14 14:52:25  
Versión de Adobe Acrobat  
Reader: 2025.001.20844

**Cuestionario de Validación Técnica – Algoritmos en Dynamo**

Tesis: "Dynamo a través de BIM para la automatización de metrados estructurales, durante la formulación de un proyecto de edificación educativa en Pasco, 2024"

Nombres y Apellidos: Luis Heder, VALERIO PALOMINO

Especialización: Especialista en Dirección y Gestión Integral de Proyectos

Grado de estudio: INGENIERO DE SISTEMAS Y COMUNICACIÓN

CIP: 169265

Escala de valoración:

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo
- Muy malo

• Preguntas de validación

1. Desde el punto de vista de programación visual, ¿los algoritmos diseñados en Dynamo cumplen con una estructura lógica clara y modular (entrada – proceso – salida)?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
2. ¿Considera que los algoritmos desarrollados son eficientes en cuanto a consumo de recursos dentro de Revit, evitando bucles innecesarios o redundancia de nodos?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
3. En relación a la robustez del código, ¿qué tan escalables y reutilizables son los algoritmos implementados para otros proyectos similares de edificación?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
4. ¿El flujo de datos asegura trazabilidad y confiabilidad de los metrados?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
5. ¿El algoritmo aprovecha correctamente las APIs de Revit y Dynamo en lugar de depender únicamente de nodos estándar o personalizados?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo
6. ¿Qué tan clara considera la legibilidad y documentación del algoritmo en Dynamo (nombres de nodos, agrupación, comentarios y esquematización)?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

7. ¿Los algoritmos presentados pueden integrarse fácilmente con otros procesos BIM sin reprogramación extensa?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

8. ¿El nivel de automatización en los metrados estructurales representa un avance frente al proceso manual?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

9. ¿Existen riesgos de dependencia tecnológica que deban documentarse como limitaciones?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

10. ¿Qué nivel de mejoras requieren los algoritmos para optimizar su desempeño en futuros proyectos?  
 Excelente  Bueno  Regular  Malo  Muy malo

De antemano, le expresamos nuestro sincero agradecimiento por tomarse el tiempo de completar el cuestionario de validación correspondiente al presente trabajo de investigación, ya que su participación y valiosas respuestas contribuirán significativamente al fortalecimiento, objetividad y calidad de los resultados obtenidos.

 Firmado digitalmente por  
11c06ca0-444b-42b6-892f  
c84cb148b26  
Fecha: 2025.11.14  
14:47:18 -05'00'  
Versión de Adobe Acrobat  
Reader: 2025.001.20844

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE  
ING. LUIS HEDER VALERIO PALOMINO

## ANEXO N°2 Matriz de consistencia

TITULO: Dynamo a través de BIM para la Automatización de metrados estructurales, durante la formulación de un proyecto de edificación educativa en Pasco, 2024						
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENCION	INDICADORES	METODOLOGIA
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable 1.</b>	<b>D1:</b> Programación Visual. <b>D2:</b> Complejidad de algoritmos. <b>D3:</b> Modelado 3D en Revit	<b>I1:</b> Índice de complejidad del Proyecto. <b>I2:</b> Tiempo de programación. <b>I3:</b> Índice de automatización por Scripts.	<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Aplicada <b>ENFOQUE DE INVESTIGACION:</b> Cuantitativo <b>NIVEL DE INVESTIGACION:</b> Relacional. <b>METODO DE INVESTIGACION:</b> Sintético <b>DISEÑO DE INVESTIGACION:</b> No Experimental.
¿Cuál es la relación entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio Cesar Vallejo N°34047, en el distrito de Yanacancha?	Determinar la relación entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio Cesar Vallejo N°34047, en el distrito de Yanacancha.	<p><b>Hipótesis alterna (H<sub>i</sub>):</b> Existe una relación entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio Cesar Vallejo N°34047, en el distrito de Yanacancha.</p> <p><b>Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):</b> No existe relación significativa entre el uso de Dynamo a través de BIM y la automatización de metrados estructurales durante la etapa de la formulación del proyecto de edificaciones de los pabellones del colegio Cesar Vallejo N°34047, en el distrito de Yanacancha.</p>	Dynamo a través de BIM			
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicos</b>	<b>Variable 2.</b>	<b>D1:</b> Nivel de Automatización. <b>D2:</b> Eficiencia algorítmica. <b>D3:</b> Productividad.	<b>I1:</b> Script por tarea. <b>I2:</b> Eficiencia por nodo. <b>I3:</b> Porcentaje de reducción de tiempo.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué relación existe entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de los metrados estructurales?</li> <li>• ¿Qué relación existe entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales?</li> <li>• ¿Qué relación existe entre el modelado 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar la relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales. <b>H<sub>i</sub>:</b> Existe una relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales. <b>H<sub>0</sub>:</b> No existe una relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales</li> <li>• Evaluar la relación entre la complejidad de algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales. <b>H<sub>i</sub>:</b> Existe una relación entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales. <b>H<sub>0</sub>:</b> No existe una relación entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales.</li> <li>• Establecer la relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad en la elaboración de metrados estructurales. <b>H<sub>i</sub>:</b> Existe una relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales. <b>H<sub>0</sub>:</b> No existe una relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>H<sub>i</sub>:</b> Existe una relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales. <b>H<sub>0</sub>:</b> No existe una relación entre la programación visual en Dynamo y el nivel de automatización de metrados estructurales</li> <li>• <b>H<sub>i</sub>:</b> Existe una relación entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales. <b>H<sub>0</sub>:</b> No existe una relación entre la complejidad de los algoritmos y la eficiencia algorítmica en la automatización de metrados estructurales.</li> <li>• <b>H<sub>i</sub>:</b> Existe una relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales. <b>H<sub>0</sub>:</b> No existe una relación entre el modelado 3D en Revit y la productividad durante la elaboración de metrados estructurales.</li> </ul>	Automatización de metrados estructurales			

*Fuente: Elaboración propia.*

✓ Documento de Solicitud del expediente primigenio con el sello de recepción del Gobierno regional de Pasco.

"Año del fortalecimiento de la soberanía nacional"



INFORME N° 001-2022/ACWR/EFPIC-UNDAC:

A : UBALDO POLINAR, Pedro  
DE : ARTEAGA CRISTOBAL, Wilder Rubén  
ATENCION : SUB GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA  
ASUNTO : Solicito documentación del expediente técnico denominado "**MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS EDUCATIVOS DE LA INSTITUCION EDUCATIVA INTREGADA N° 34047 CESAR VALLEJO**"  
FECHA : 13 de setiembre del 2022

Mediante el presente es grato dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente, así mismo aprovecho la ocasión para solicitar lo siguiente.

Que, mediante ley de transparencia, ley N°27806, y el articulo 2, inciso 5 de nuestra constitución política del Perú, y en mi condición de persona natural y de estudiante de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, con fines académicos y de investigación, SOLICITO a su representado que según términos de la ley en mención se me otorgue en un plazo de 7 Dias los siguientes documentos:

- PLANOS DE ESPECIALIDAD DE ESTRUCTURAS
- RESUMEN Y SUSTENTO DE METRADOS EN LA ESPECIALIDAD DE ESTRUCTURAS
- ARCHIVOS ORIGINALES DE LOS PLANOS

Asi mismo adjunto el archivo de matricula del periodo actual, para dar veracidad como estudiante de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Es todo en cuanto informo a su persona, para su conocimiento y agradeciendo que mi solicitud sea respondida.

ARTEAGA CRISTOBAL, Wilder Rubén

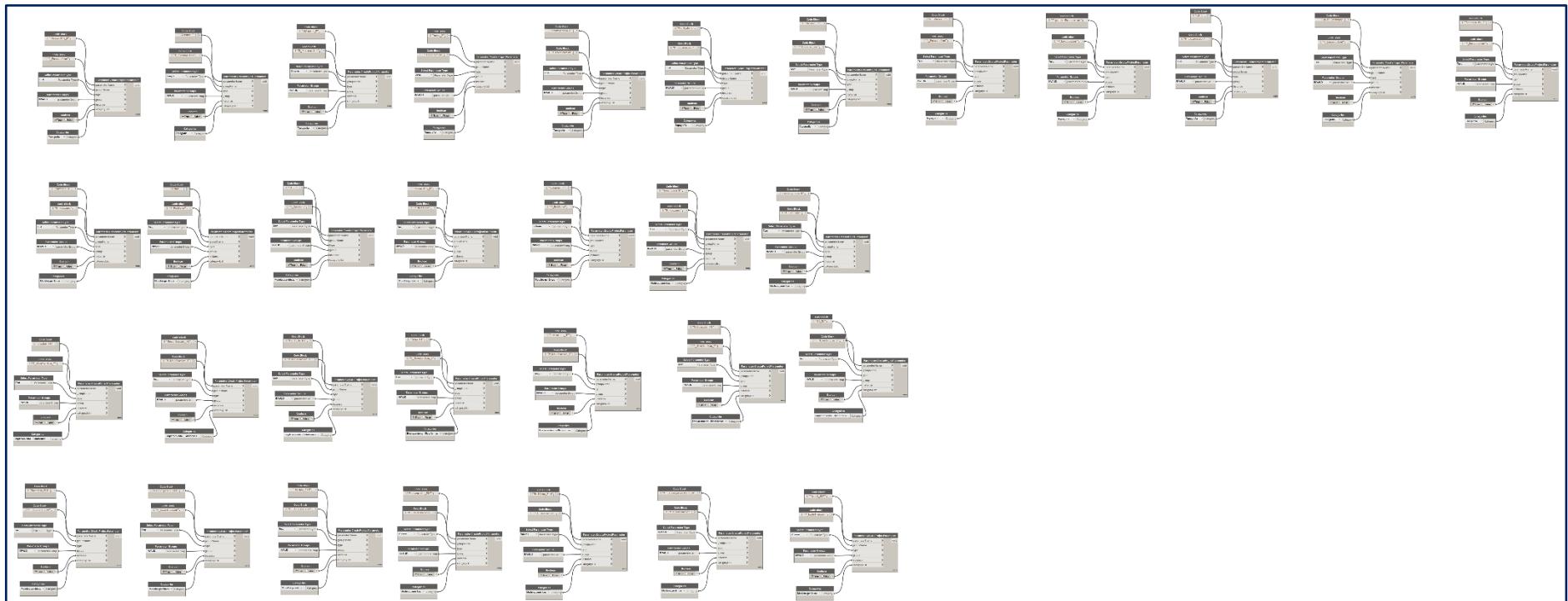
DNI: 76088388

CE: 1844703080

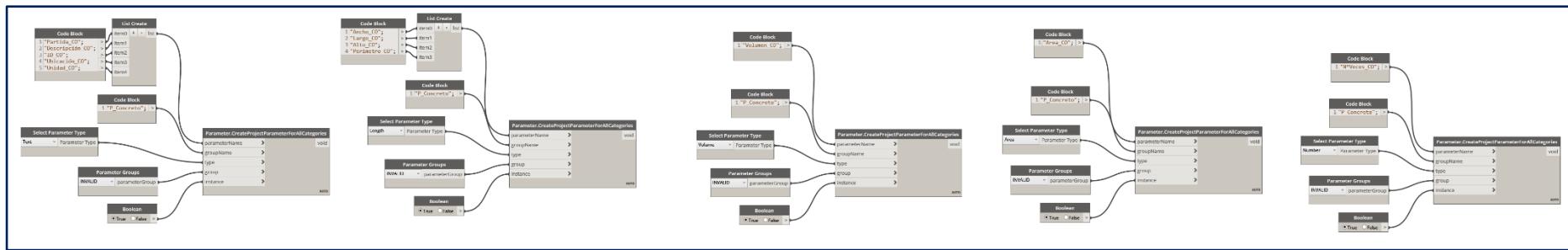
#### **Anexo N° 4**

- ✓ Esquema de los algoritmos desarrollados en Dynamo de todas las partidas estructurales concernientes el expediente técnico.

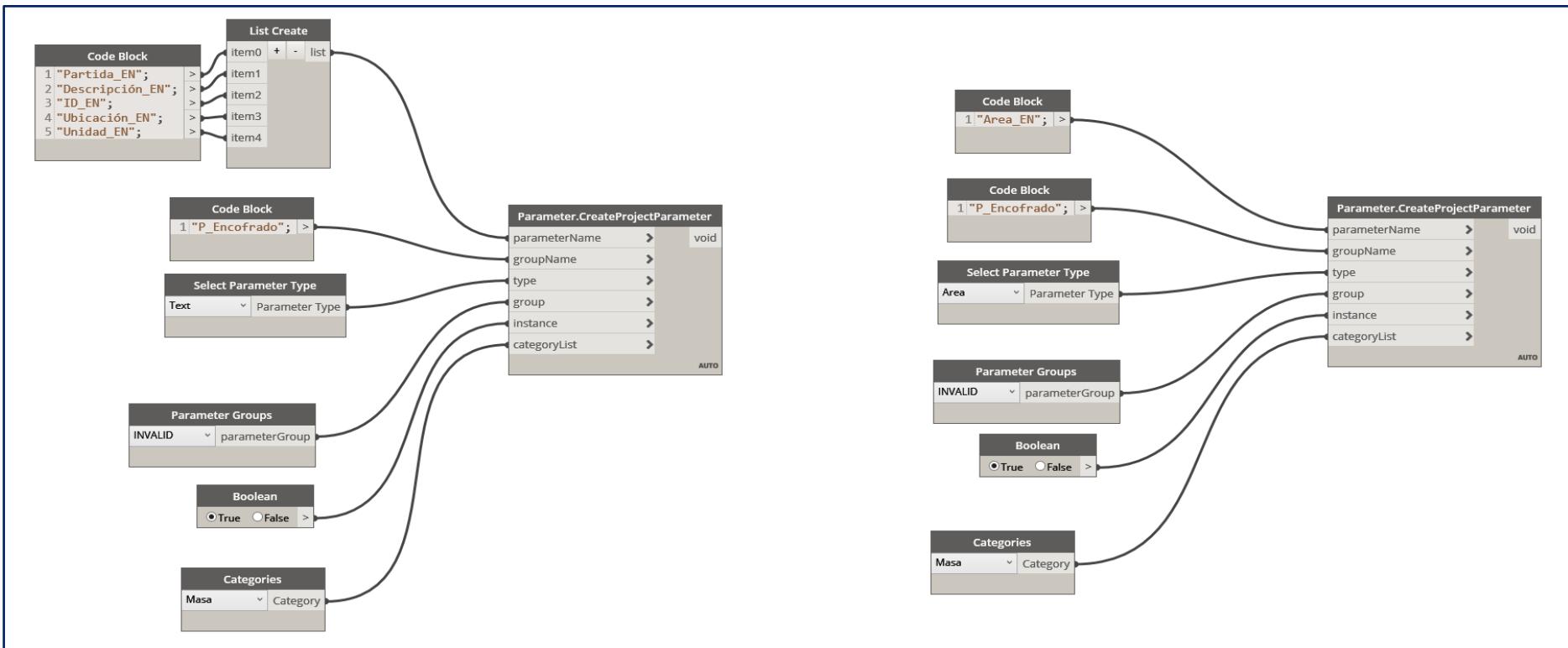
#### **ALGORITMOS DESARROLLADOS:**



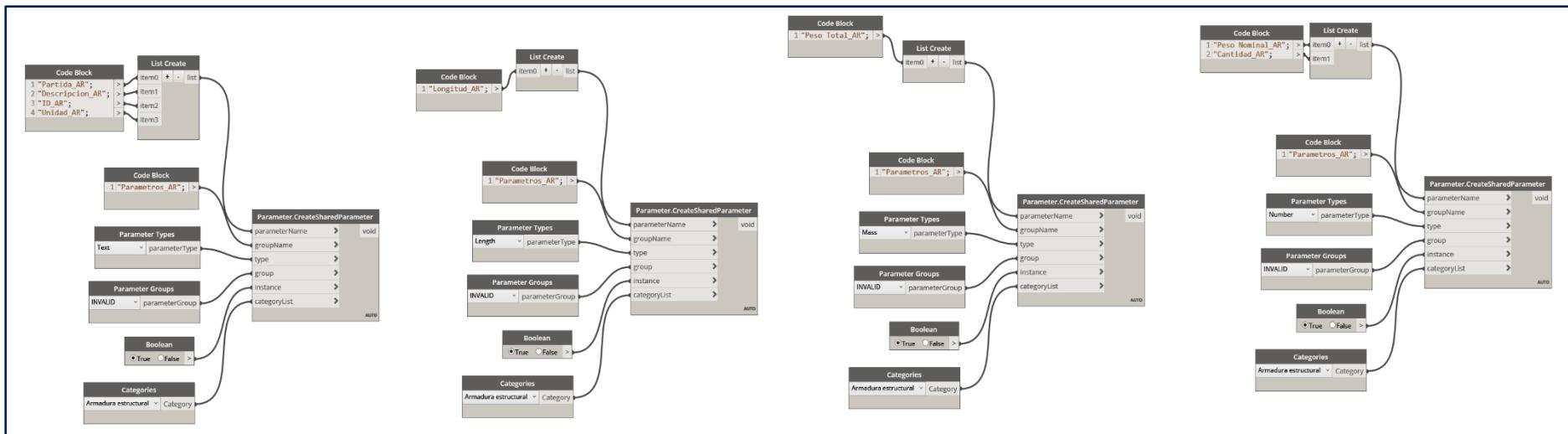
*Algoritmo: Parámetros Para Partidas De Movimiento De Tierras*



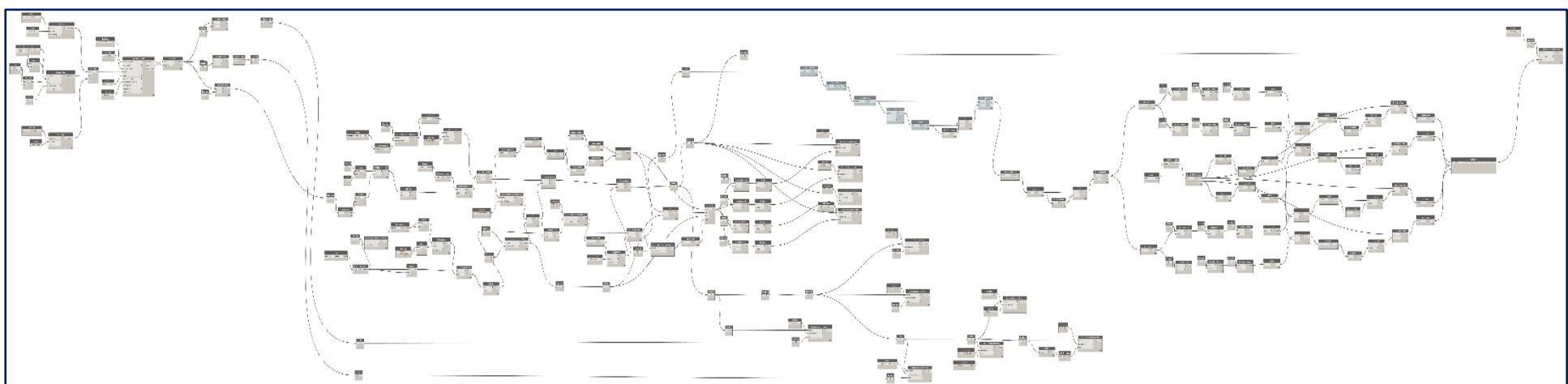
**Algoritmo: Parámetros Para Partidas De Concreto Armado Y Simple**



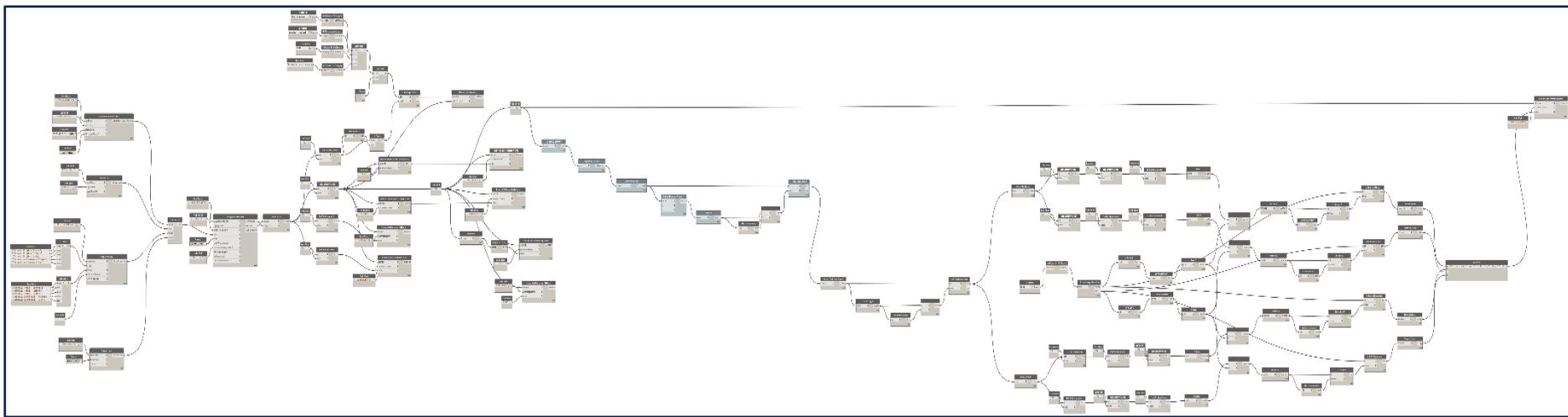
**Algoritmo: Parámetros Para Partidas De Encofrado**



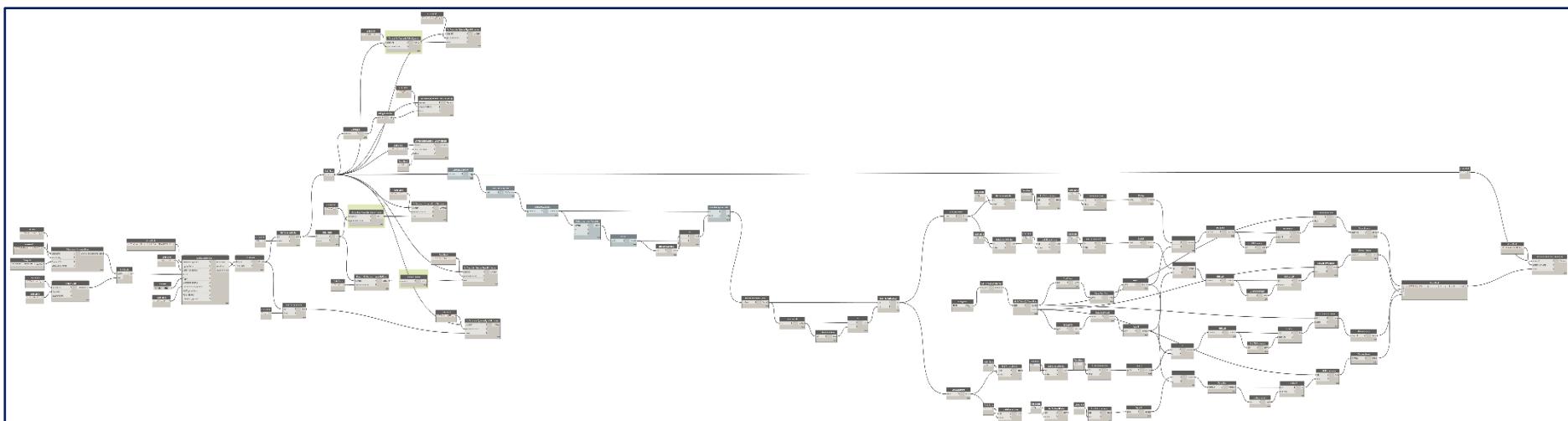
*Algoritmo: Parámetros Para Partidas de Acero*



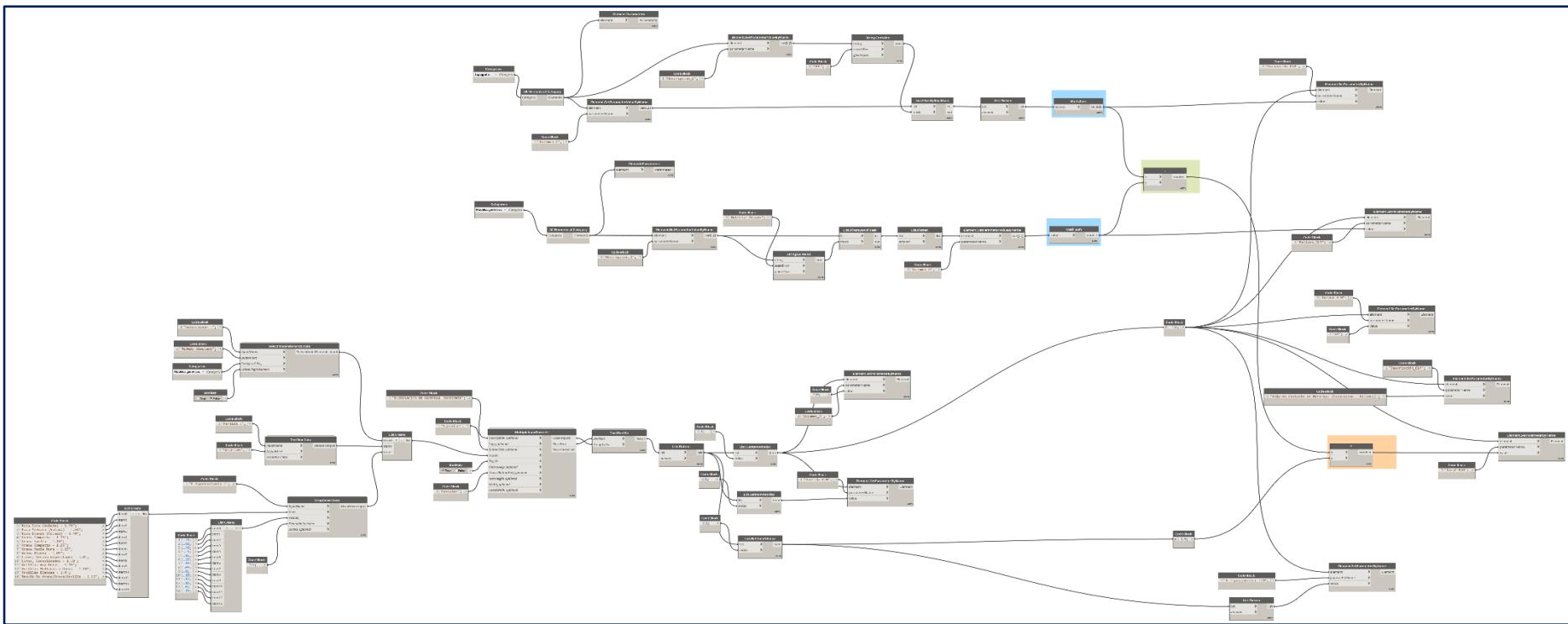
*Algoritmo: Cuantificación Partidas de Excavaciones*



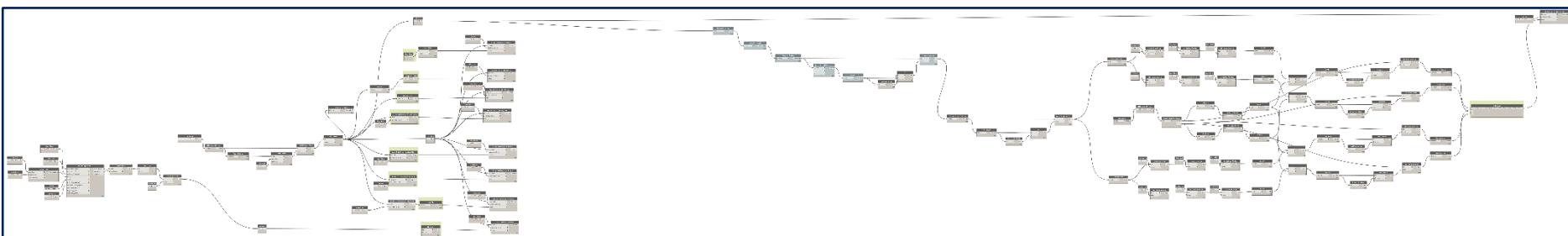
## *Algoritmo: Cuantificación Para Partidas De Relleno*



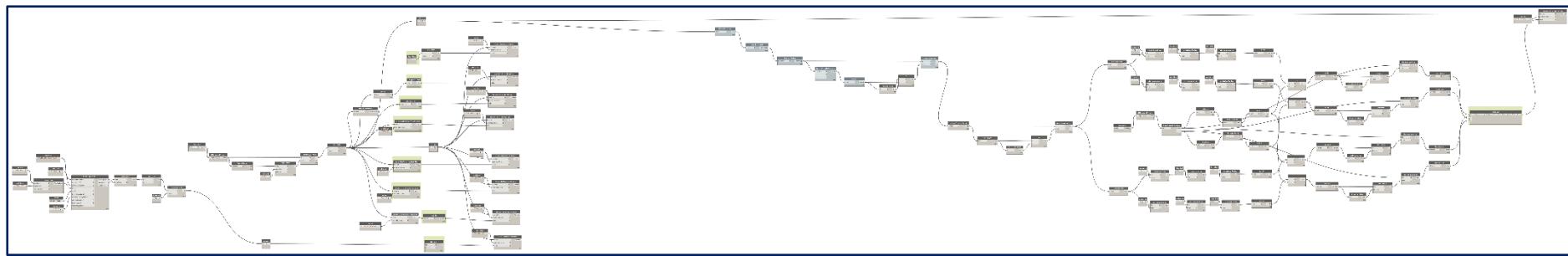
## **Algoritmo: Cuantificación Para Partidas De Nivelación Interior Y Apisonado**



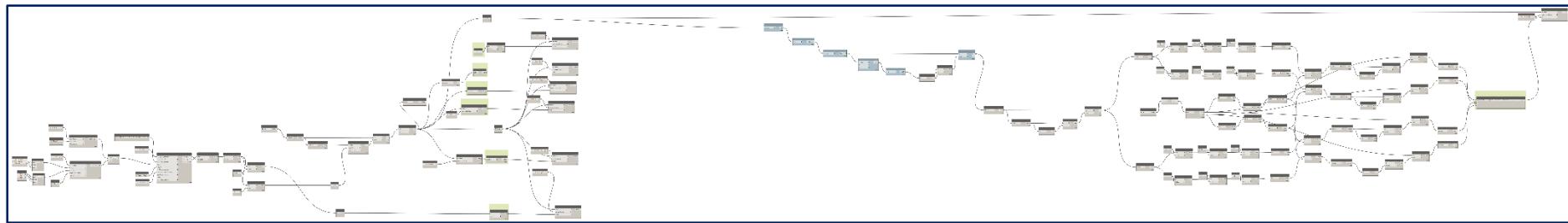
## **Algoritmo: Cuantificación Para Partidas De Eliminación De Material Excedente**



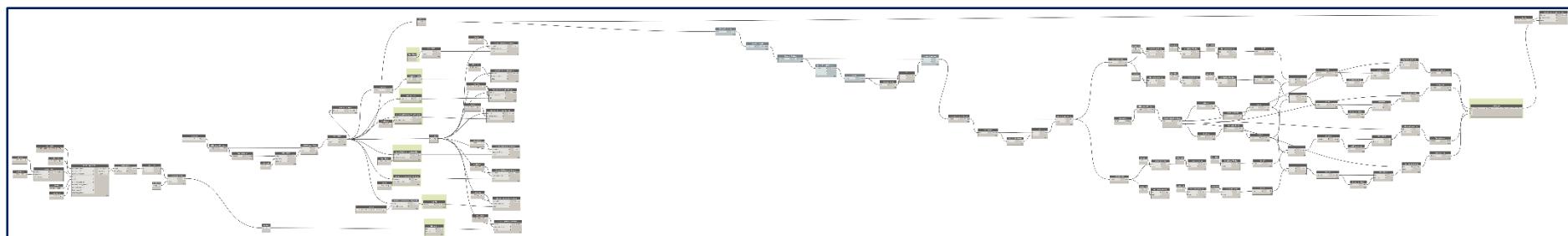
### **Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Simple - Solados**



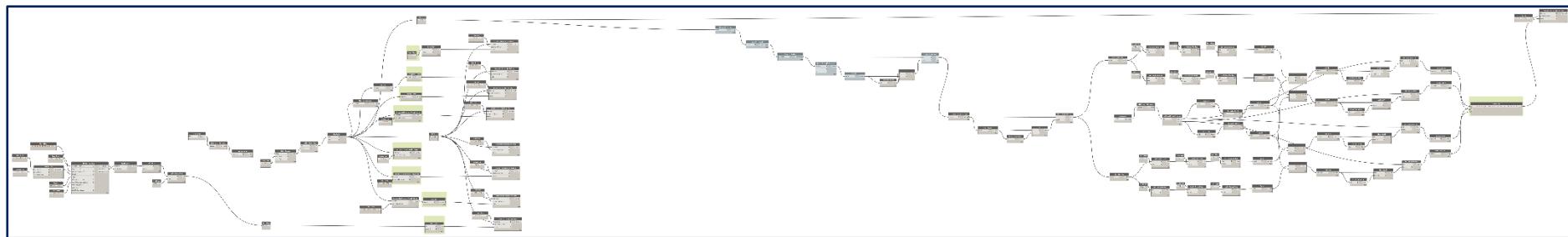
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Simple – Sobrecimiento*



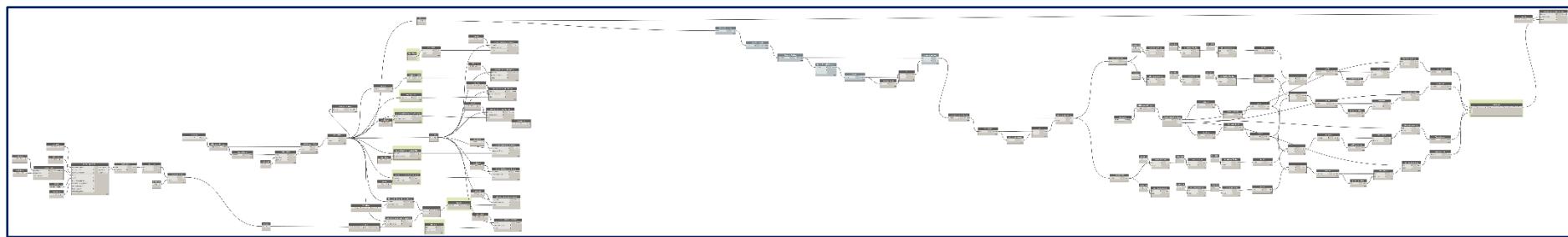
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Simple – Falso Piso*



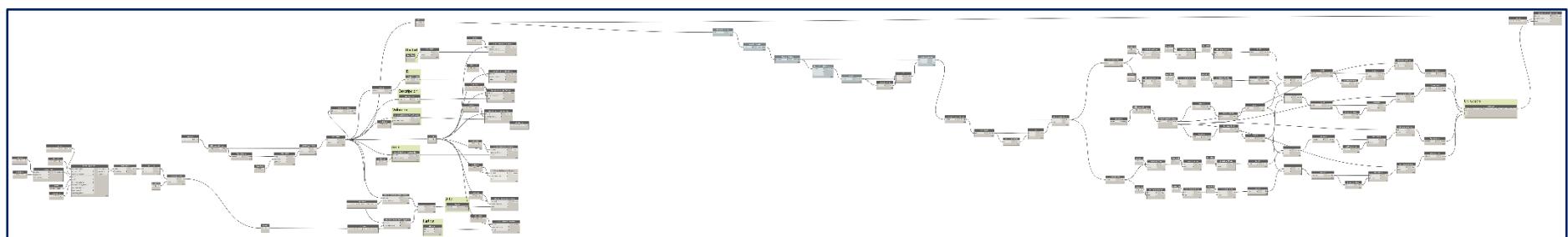
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Simple – Cimiento Corrido*



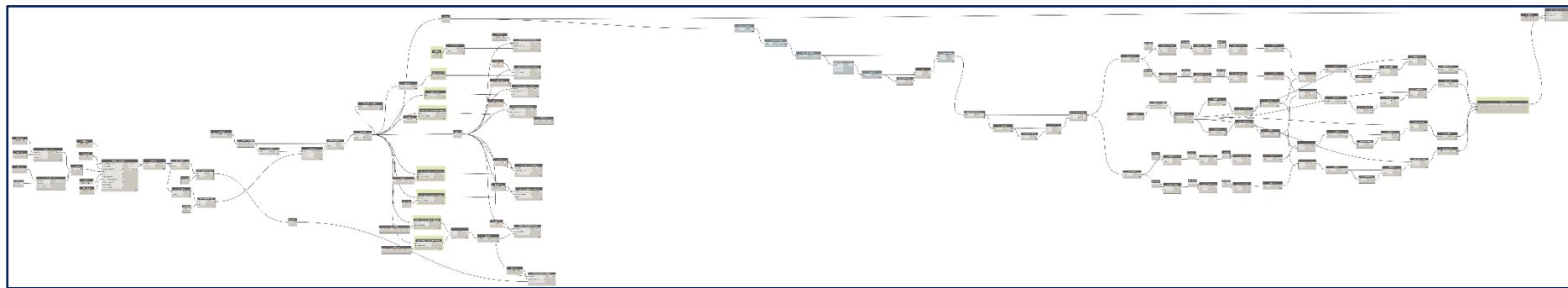
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Armado – Placas*



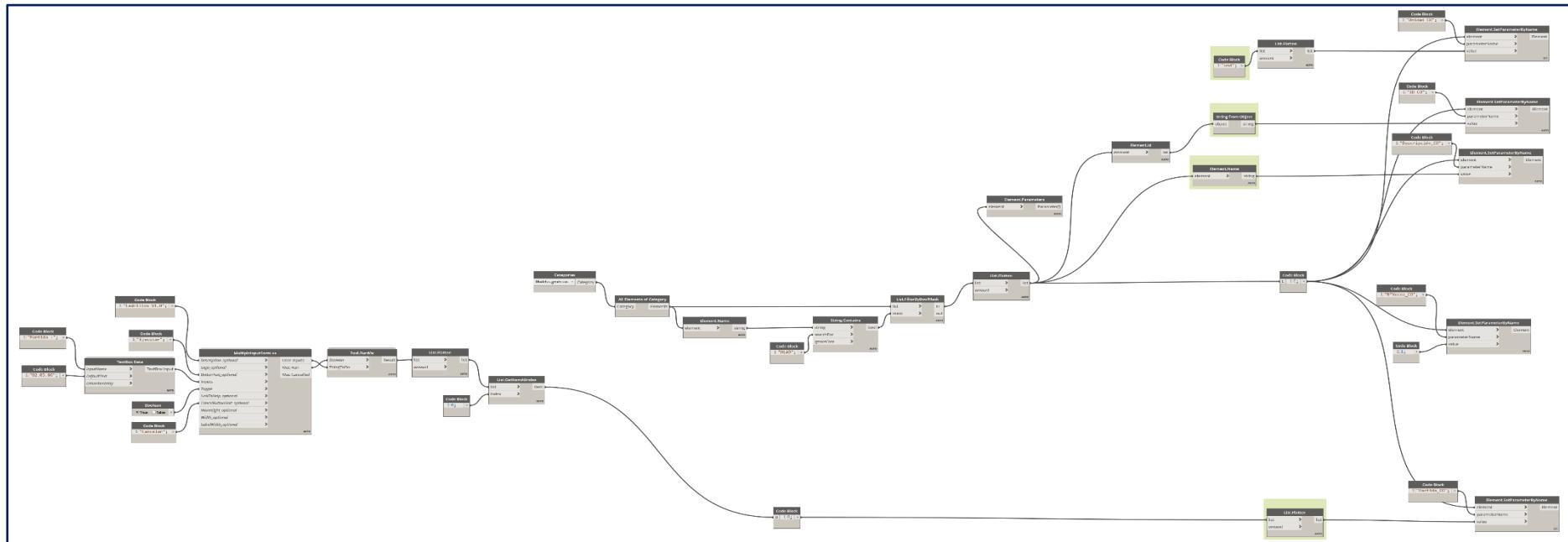
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Armado – Zapatas*



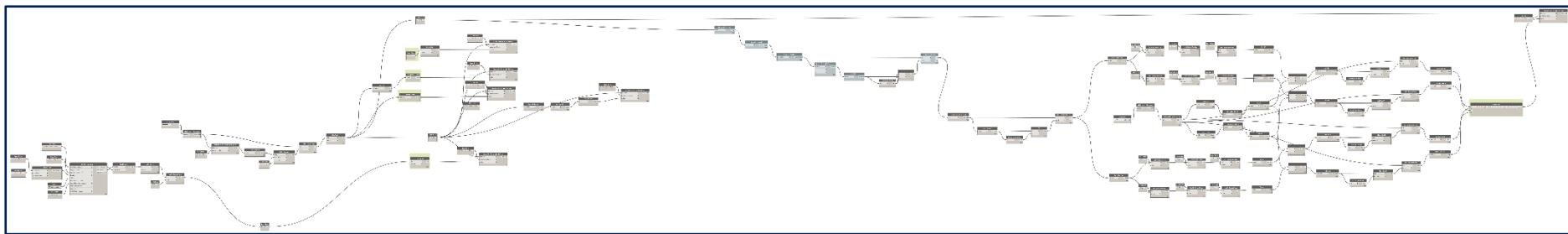
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Armado – Vigas*



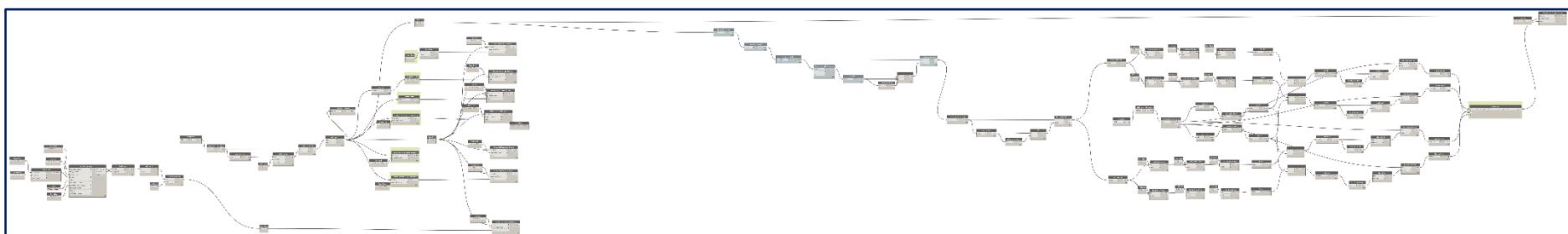
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Armado – Losa Aligerada*



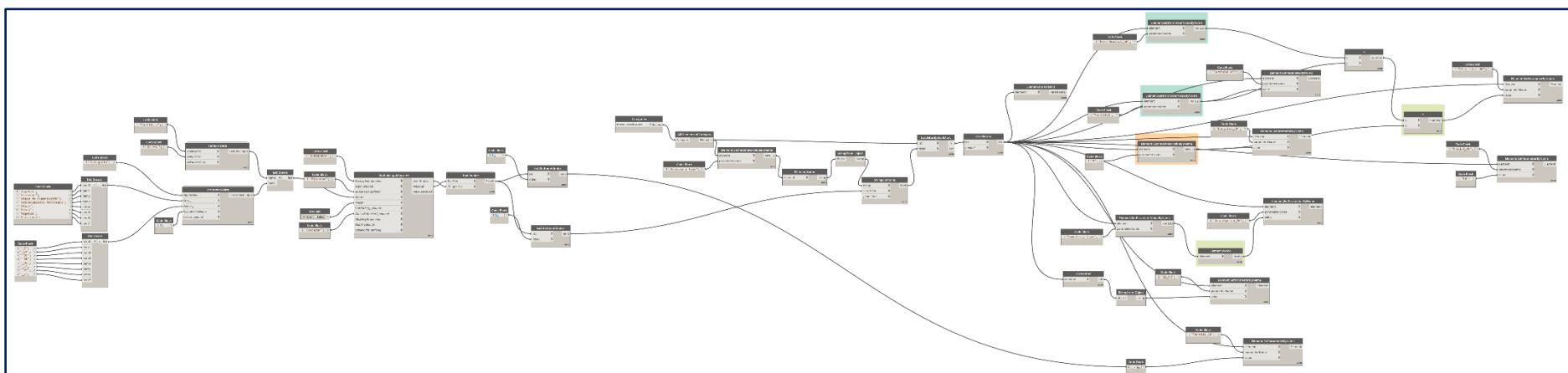
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Armado – Ladrillos*



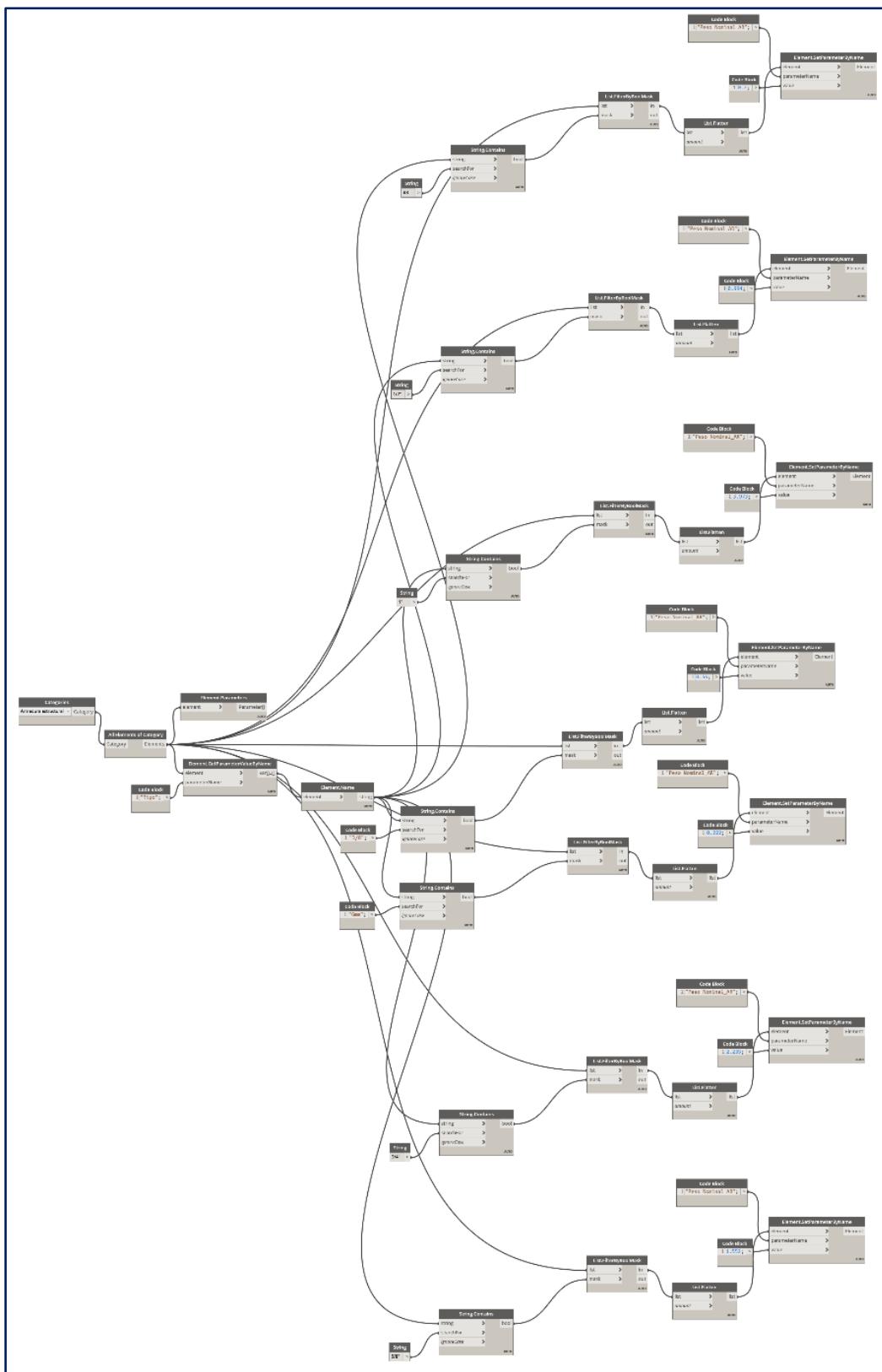
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Armado – Escaleras*



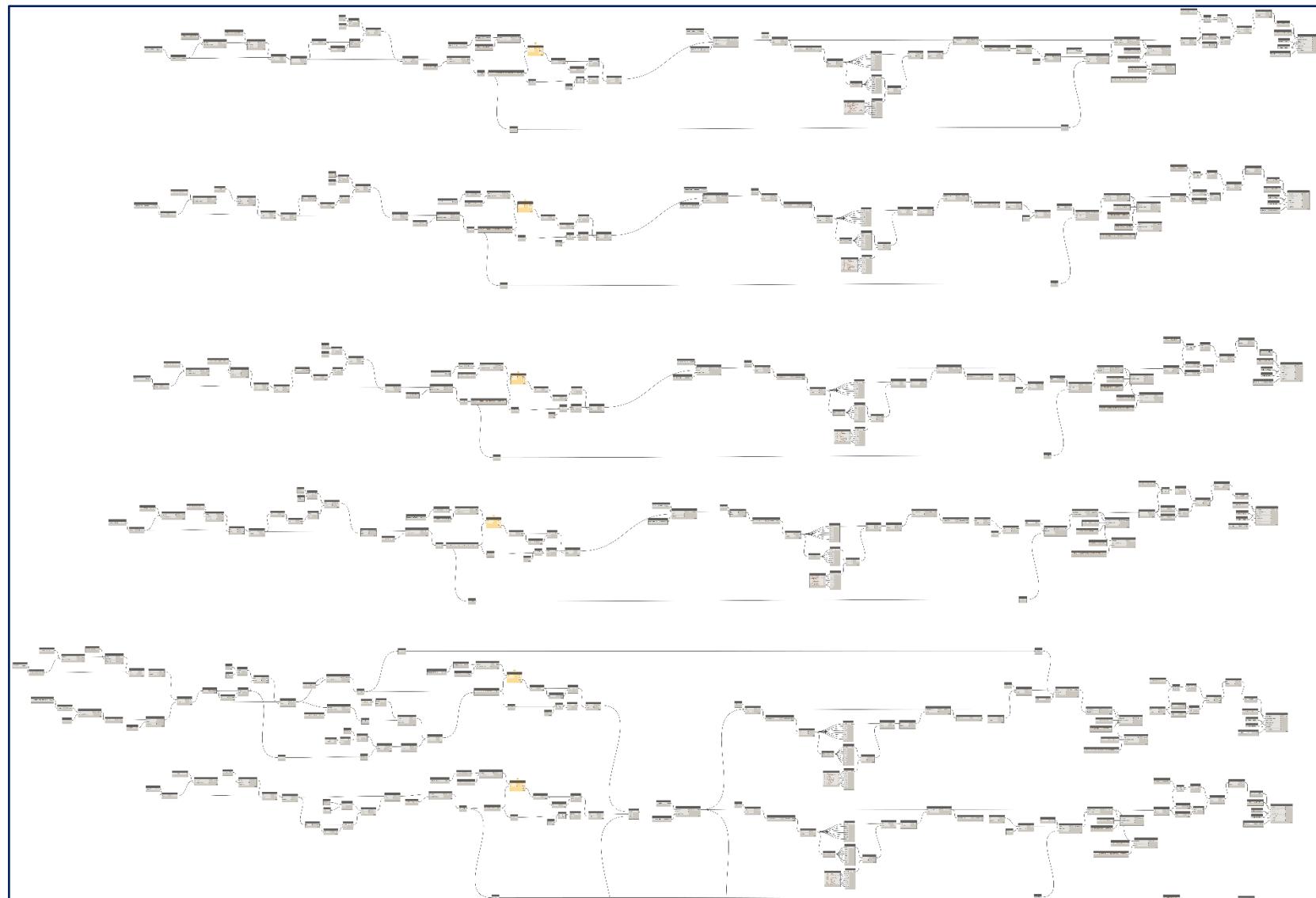
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida Concreto Armado – Columnas*



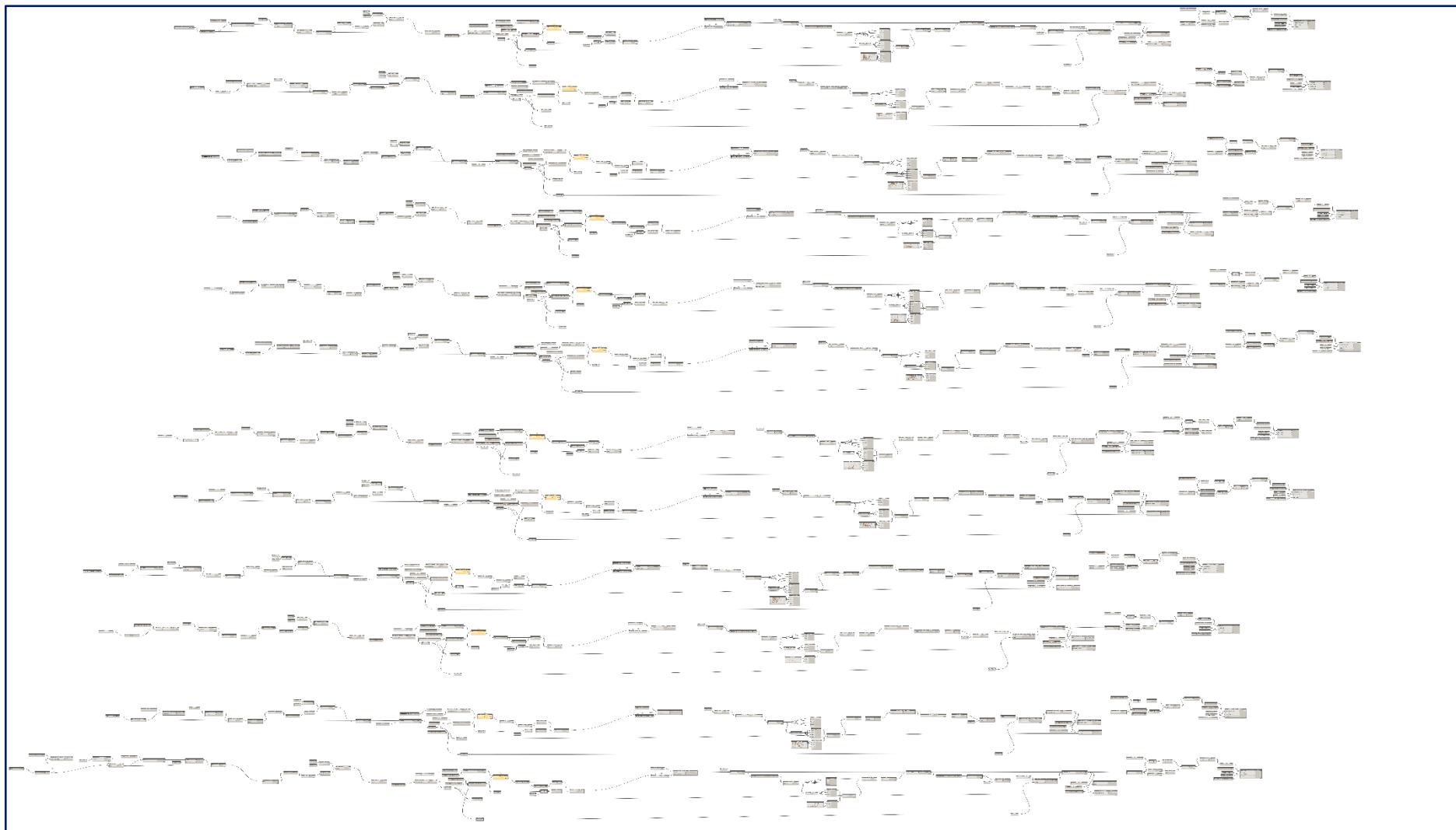
*Algoritmo: Cuantificación Para Partida en General de Acero*



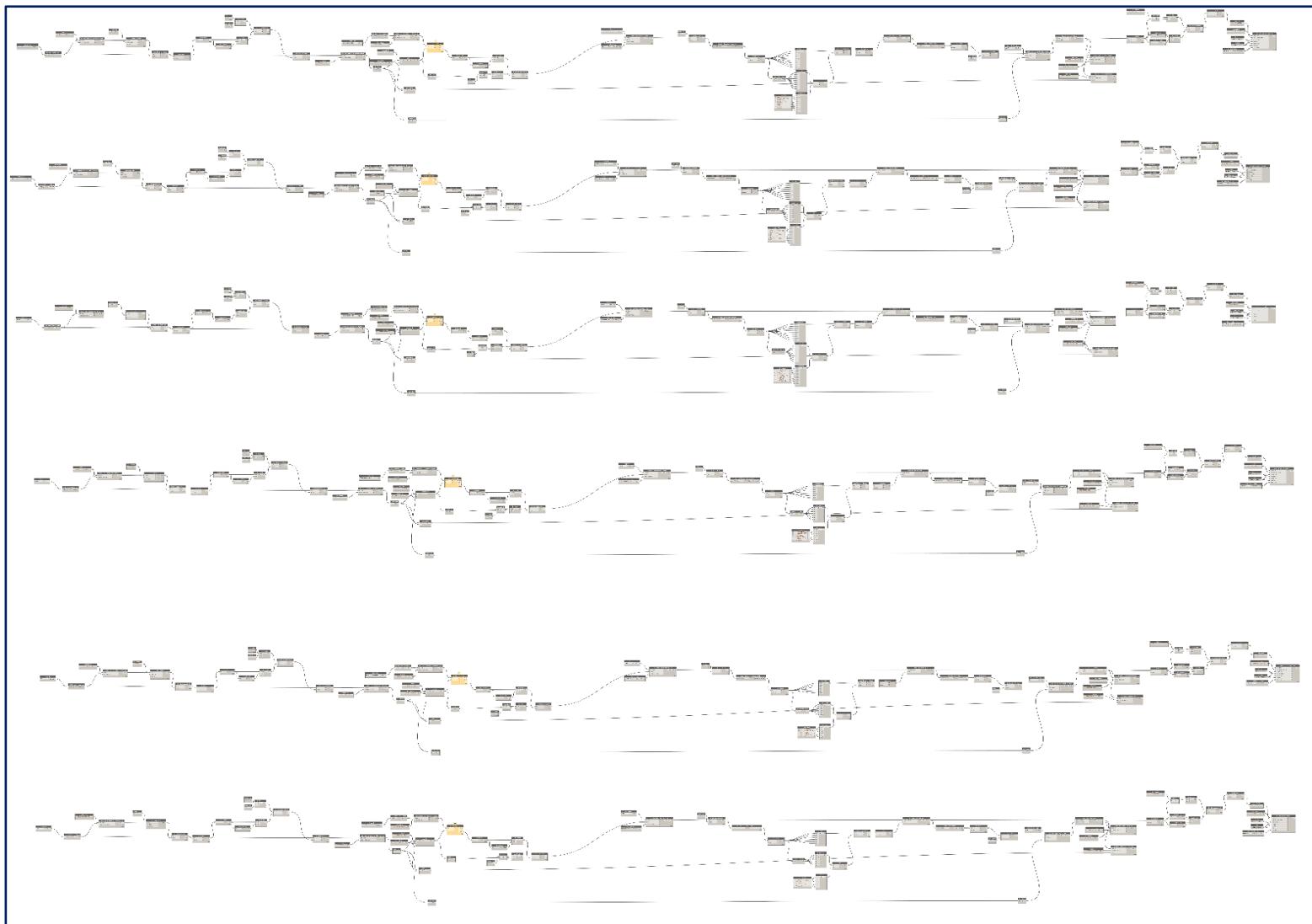
**Algoritmo: Valores de Pesos Nominales de Aceros – Personalizado**



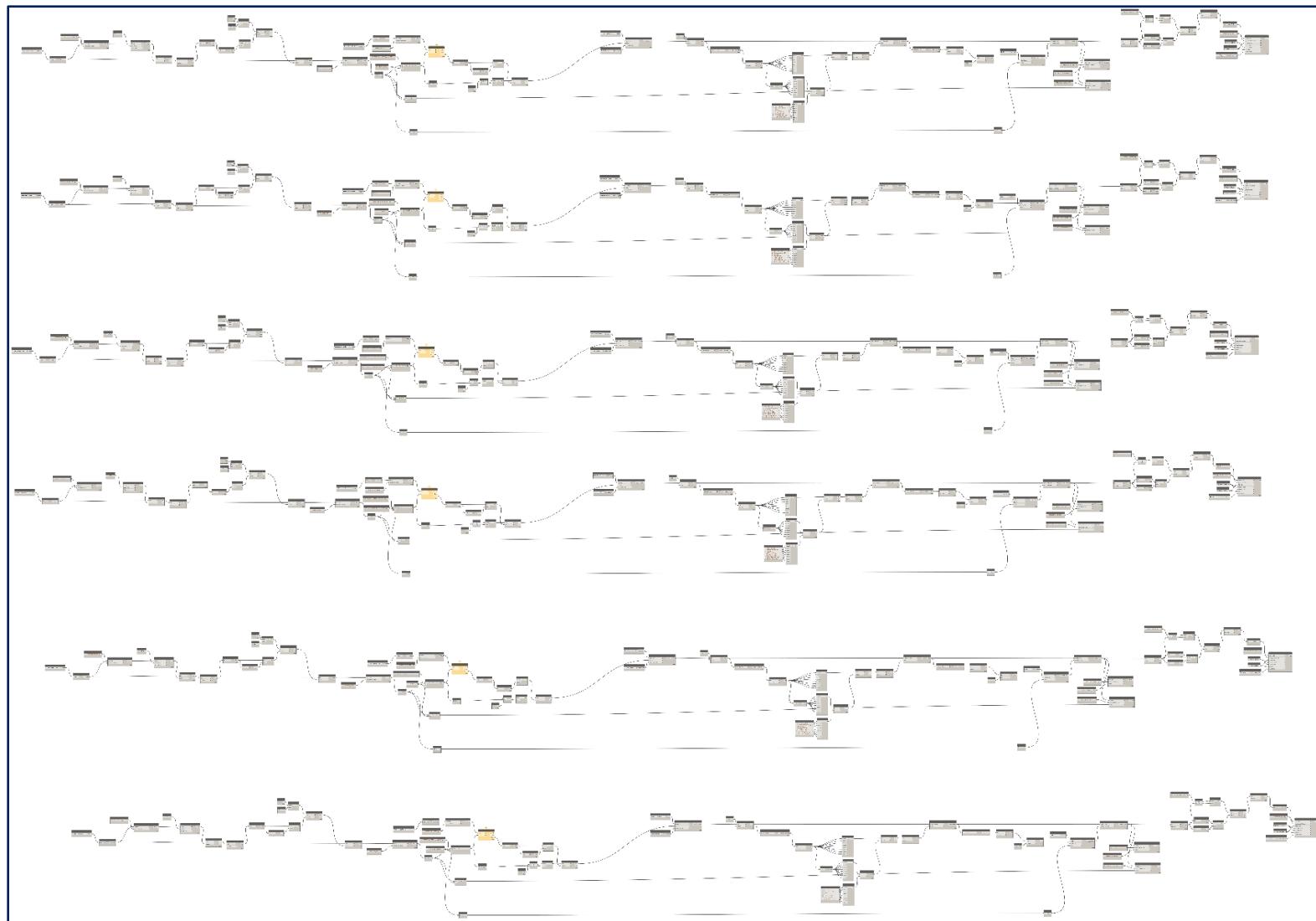
*Algoritmo: Creación De Hoja De Planilla De Metrados – Correspondiente a Partidas de Movimiento De Tierra*



**Algoritmo: Creación De Hoja De Planilla De Metrados – Correspondiente a Partidas de Concreto Armado**



*Algoritmo: Creación De Hoja De Planilla De Metrados – Correspondiente a Partidas de Concreto Simple*



*Algoritmo: Creación De Hoja De Planilla De Metrados – Correspondiente a Partidas de Acero*

## Anexo N° 5

✓ Hoja de resumen de los metrados

RESUMEN DE METRADOS - ELABORADO			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	TOTAL
<b>2.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>		
02.01.01	EXCAVACIÓN PARA ZAPATAS Y ZANJAS DE CIMENTO CORRIDO	m3	472.42
02.01.02	RELEÑOS CON MATERIAL PROPIO	m3	280.93
02.01.03	NIVELACIÓN, RELLENO Y COMPACTADO	m2	430.52
02.01.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	239.36
<b>2.02</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>		
02.02.01	CIMIENTOS CORRIDOS	m3	46.12
02.02.02	SOLADOS	m2	221.76
02.02.03	FALSO PISOS	m2	554.15
<b>2.03</b>	<b>SOBRECIMIENTOS</b>		
02.03.01	SOBRECIMIENTO CONCRETO 1:8 + 25% PIEDRA MEDIANA	m3	3.68
02.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN SOBRECIMIENTO	m2	59.44
<b>02.03.</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>		
<b>02.03.01</b>	<b>ZAPATAS</b>		
02.03.01.1	CONCRETO PARA ZAPATAS	m3	143.64
02.03.01.2	ACERO PARA ZAPATAS	kg	7596.46
<b>02.03.02</b>	<b>COLUMNAS</b>		
02.03.02.1	CONCRETO PARA COLUMNAS	m3	161.08
02.03.02.2	ENCOFRADO PARA COLUMNAS	m2	1617.53
02.03.02.3	ACERO PARA COLUMNAS	kg	30478.25
<b>02.03.03</b>	<b>VIGAS DE CIMENTACION</b>		
02.03.03.1	CONCRETO PARA VIGAS DE CIMENTACION	m3	121.27
02.03.03.2	ENCOFRADO PARA VIGAS DE CIMENTACION	m2	501.35
02.03.03.3	ACERO PARA VIGAS DE CIMENTACION	kg	5228.08
<b>02.03.04</b>	<b>SOBRE CIMENTO REFORZADO</b>		
02.03.04.1	CONCRETO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	m3	25.31
02.03.04.2	ENCOFRADO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	m2	156.11
02.03.04.3	ACERO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	kg	402.87
<b>02.03.05</b>	<b>VIGAS PERALTADAS</b>		
02.03.05.1	CONCRETO PARA VIGAS PERALTADAS	m3	137.15
02.03.05.2	ENCOFRADO PARA VIGAS PERALTADAS	m2	1182.47
02.03.05.3	ACERO PARA VIGAS PERALTADAS	kg	23946.24
<b>02.03.06</b>	<b>LOSA ALIGERADA</b>		
02.03.06.1	CONCRETO PARA LOSA ALIGERADA	m3	152.56
02.03.06.2	ENCOFRADO PARA LOSA ALIGERADA	m2	1145.36
02.03.06.3	ACERO PARA LOSA ALIGERADA	kg	11089.4
02.03.06.4	LADRILLOS TECHO ALIGERADO	und	7519
<b>02.03.07</b>	<b>ESCALERAS</b>		
02.03.07.1	CONCRETO PARA ESCALERAS	m3	9.58
02.03.07.2	ENCOFRADO PARA ESCALERAS	m2	60.47
02.03.07.3	ACERO PARA ESCALERAS	kg	987.2
02.03.07.4	CONCRETO PARA BASE DE ESCALERAS	m3	1

*Metrado: Elaboración propia del investigador*

RESUMEN DE METRADOS - EXPEDIENTE TÉCNICO			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	TOTAL
<b>2.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>		
02.01.01	EXCAVACIÓN PARA ZAPATAS Y ZANJAS DE CIMENTO CORRIDO	m3	417.35
02.01.02	RELENOS CON MATERIAL PROPIO	m3	213.93
02.01.03	NIVELACIÓN, RELLENO Y COMPACTADO	m2	431.08
02.01.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	254.27
<b>2.02</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>		
02.02.01	CIMENTOS CORRIDOS	m3	41.18
02.02.02	SOLADOS	m2	202.32
02.02.03	FALSO PISOS	m2	No se Considero
<b>2.03</b>	<b>SOBRECIMIENTOS</b>		
02.03.01	SOBRECIMIENTO CONCRETO 1:8 +25% PIEDRA MEDIANA	m3	6.34
02.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN SOBRECIMIENTO	m2	59.44
<b>02.03.</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>		
<b>02.03.01</b>	<b>ZAPATAS</b>		
02.03.01.1	CONCRETO PARA ZAPATAS	m3	121.39
02.03.01.2	ACERO PARA ZAPATAS	kg	7523.34
<b>02.03.02</b>	<b>COLUMNAS</b>		
02.03.02.1	CONCRETO PARA COLUMNAS	m3	159.89
02.03.02.2	ENCOFRADO PARA COLUMNAS	m2	1491.87
02.03.02.3	ACERO PARA COLUMNAS	kg	30540.46
<b>02.03.03</b>	<b>VIGAS DE CIMENTACION</b>		
02.03.03.1	CONCRETO PARA VIGAS DE CIMENTACION	m3	66.87
02.03.03.2	ENCOFRADO PARA VIGAS DE CIMENTACION	m2	140.58
02.03.03.3	ACERO PARA VIGAS DE CIMENTACION	kg	5299.1
<b>02.03.04</b>	<b>SOBRE CIMENTO REFORZADO</b>		
02.03.04.1	CONCRETO PARA SOBRECIMIENTO REFORZADO	m3	8.1
02.03.04.2	ENCOFRADO PARA SOBRECIMIENTO REFORZADO	m2	108.06
02.03.04.3	ACERO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	kg	404.93
<b>02.03.05</b>	<b>VIGAS PERALTADAS</b>		
02.03.05.1	CONCRETO PARA VIGAS PERALTADAS	m3	154.16
02.03.05.2	ENCOFRADO PARA VIGAS PERALTADAS	m2	1283.61
02.03.05.3	ACERO PARA VIGAS PERALTADAS	kg	23741.39
<b>02.03.06</b>	<b>LOSA ALIGERADA</b>		
02.03.06.1	CONCRETO PARA LOSA ALIGERADA	m3	120.72
02.03.06.2	ENCOFRADO PARA LOSA ALIGERADA	m2	1344.48
02.03.06.3	ACERO PARA LOSA ALIGERADA	kg	11131.32
02.03.06.4	LADRILLOSTECHO ALIGERADO	und	11872.8
<b>02.03.07</b>	<b>ESCALERAS</b>		
02.03.07.1	CONCRETO PARA ESCALERAS	m3	30.98
02.03.07.2	ENCOFRADO PARA ESCALERAS	m2	109.49
02.03.07.3	ACERO PARA ESCALERAS	kg	931.87
02.03.07.4	CONCRETO PARA BASE DE ESCALERAS	m3	No se considero

*Metrado: Extraído del expediente técnico primigenio*

RESUMEN DE METRADOS - AUTOMATIZACION DYNAMO				
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	TOTAL	
<b>2.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>			
02.01.01	EXCAVACIÓN PARA ZAPATAS Y ZANJAS DE CIMENTO CORRIDO	m3	507.15	
02.01.02	RELLENOS CON MATERIAL PROPIO	m3	271.52	
02.01.03	NIVELACIÓN, RELLENO Y COMPACTADO	m2	429.35	
02.01.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	235.63	
<b>2.02</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>			
<b>02.02.01</b>	<b>CIMENTOS CORRIDOS</b>	m3	47.67	
<b>02.02.02</b>	<b>SOLADOS</b>	m2	219.49	
<b>02.02.03</b>	<b>FALSO PISOS</b>	m2	533.81	
<b>2.03</b>	<b>SOBRECIMIENTOS</b>			
02.03.01	SOBRECIMIENTO CONCRETO 1:8 + 25% PIEDRA MEDIAMA	m3	3.71	
02.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN SOBRECIMIENTO	m2	58.58	
<b>02.03.</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>			
<b>02.03.01</b>	<b>ZAPATAS</b>			
02.03.01.1	CONCRETO PARA ZAPATAS	m3	145.32	
02.03.01.2	ACERO PARA ZAPATAS	kg	7464.44	
<b>02.03.02</b>	<b>COLUMNAS</b>			
02.03.02.1	CONCRETO PARA COLUMNAS	m3	147.25	
02.03.02.2	ENCOFRADO PARA COLUMNAS	m2	1573.35	
02.03.02.3	ACERO PARA COLUMNAS	kg	30679.25	
<b>02.03.03</b>	<b>VIGAS DE CIMENTACION</b>			
02.03.03.1	CONCRETO PARA VIGAS DE CIMENTACION	m3	116.66	
02.03.03.2	ENCOFRADO PARA VIGAS DE CIMENTACION	m2	521.52	
02.03.03.3	ACERO PARA VIGAS DE CIMENTACION	kg	5246.74	
<b>02.03.04</b>	<b>SOBRE CIMENTO REFORZADO</b>			
02.03.04.1	CONCRETO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	m3	26.45	
02.03.04.2	ENCOFRADO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	m2	164.32	
02.03.04.3	ACERO PARA SOBRE CIMENTO REFORZADO	kg	398.46	
<b>02.03.05</b>	<b>VIGAS PERALTADAS</b>			
02.03.05.1	CONCRETO PARA VIGAS PERALTADAS	m3	120.1	
02.03.05.2	ENCOFRADO PARA VIGAS PERALTADAS	m2	992.57	
02.03.05.3	ACERO PARA VIGAS PERALTADAS	kg	23845.34	
<b>02.03.06</b>	<b>LOSA ALIGERADA</b>			
02.03.06.1	CONCRETO PARA LOSA ALIGERADA	m3	120.93	
02.03.06.2	ENCOFRADO PARA LOSA ALIGERADA	m2	882.69	
02.03.06.3	ACERO PARA LOSA ALIGERADA	kg	3006.6	
02.03.06.4	LADRILLOS TECHO ALIGERADO	und	7298	
<b>02.03.07</b>	<b>ESCALERAS</b>			
02.03.07.1	CONCRETO PARA ESCALERAS	m3	9.46	
02.03.07.2	ENCOFRADO PARA ESCALERAS	m2	61.79	
02.03.07.3	ACERO PARA ESCALERAS	kg	956.23	
02.03.07.4	CONCRETO PARA BASE DE ESCALERAS	m3	0.99	

*Metrado: Elaboración propia del investigador automatizado en Dynamo*