

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



### TESIS

## “GESTIÓN VISUAL Y PROGRAMACIÓN EN BIM-LEAN PARA LA TOMA DE DECISIONES EN PROYECTOS DE EDIFICACIONES EN ASPECTOS ESTRUCTURALES Y CONSTRUCTIVOS”

Para obtener el título profesional de ingeniero civil

Elaborado por

Antony Juan Campos Vega

 [0009-0003-5048-0890](#)

Asesor

Mag. Ing. Víctor Pool Rojas Yupanqui

 [0009-0003-8591-8311](#)

**LIMA- PERÚ**

**2025**

© 2025, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados  
**“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en  
parte, con fines estrictamente académicos.”**

Antony Juan Campos Vega

[ajcamposv@uni.pe](mailto:ajcamposv@uni.pe)

(+51) 966673897

***Dedicatoria:***

*Esta tesis se la dedico a mis padres; Juan Campos y Luz Vega, por su amor infinito,  
sus enseñanzas y apoyo incondicional.*

*Al Ing. Víctor Rojas Yupanqui por enseñarme la mejor herramienta de la ingeniería:  
“La programación”.*

*A mi profesor de toda la vida, Wilfredo Sernaqué Silva, por introducirme desde muy  
joven al mundo de las matemáticas.*

*A mi familia, por su constante apoyo.*

*A mi alma mater la Universidad Nacional de Ingeniería.*

*Siempre innovando,*

## **Agradecimientos**

Agradecer al laboratorio de Diseño y Construcción Virtual de la Universidad Nacional de Ingeniería liderada por el Ing. Sabino Basualdo Montes donde tuve la oportunidad de liderar y estar a cargo del área de innovación y en donde recibí las herramientas necesarias para poder desarrollar mi tesis.

Agradezco de igual manera al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) por el apoyo brindado para desarrollar mi investigación de tesis en los aspectos de la ingeniería estructural usando el software ETABS.

Agradecer las apreciaciones realizadas por el Ing. Paolo Iván Bustos Vidal, a la Ing. Vanessa Estefanía Inciso Mayoría, al Arq. José Luis Alomía Oviedo, al Ing. Jonatan Ruiz Gutiérrez, y al Ing. Luis Daniel Berrocal Zegarra por sus validaciones (juicio de expertos) en la culminación de mi tesis por sus apreciaciones como juicio de expertos.

## ÍNDICE

<b>Resumen.....</b>	9
<b>Abstract.....</b>	10
<b>Prólogo.....</b>	11
<b>Lista de tablas.....</b>	12
<b>Lista de figuras.....</b>	13
<b>Capítulo I. Introducción.....</b>	18
1.1 Generalidades .....	18
1.2 Descripción del problema de investigación .....	20
1.2.1 Problemática general .....	20
1.2.2 Problemática específica .....	20
1.3 Objetivos del estudio .....	22
1.3.1 Objetivos general.....	22
1.3.2 Objetivos específicos .....	22
1.4 Hipótesis.....	23
1.4.1 Hipótesis general.....	23
1.4.2 Hipótesis específica .....	23
1.5 Antecedentes investigativos.....	23
<b>Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....</b>	26
2.1 Marco teórico .....	26
2.1.1 Programación computacional .....	26
2.1.2 Planificación: .....	28
2.1.3 Ciclo de vida del proyecto .....	30
2.1.4 Procesos .....	31
2.1.5 Estructura de desglose de trabajo (EDT) .....	33
2.2 Marco conceptual.....	34
2.2.1 Fases del proyecto .....	34
2.2.2 Sectorización.....	37
2.2.3 Automatización .....	38
2.2.4 BIM.....	38
2.2.5.- Concreto masivo .....	51
2.2.6.- Arduino.....	53

<b>Capítulo III. Implementación en aspectos estructurales .....</b>	55
3.1 Implementación en aspectos estructurales. ....	55
3.1.1 Interoperabilidad ETABS-Revit-ED1: .....	56
<b>Capítulo IV. Implementación en aspectos constructivos .....</b>	63
4.1 Implementaciones en aspectos constructivos.....	63
4.1.1 Aplicativo CI1: “Modelado automatizado de zapatas” .....	66
4.1.2 Aplicativo CI2: “Modelado automatizado de columnas” .....	71
4.1.3 Aplicativo CI3: “Modelado automatizado de vigas” .....	75
4.1.4 Aplicativo CI4: “Modelado automatizado de losas” .....	79
4.1.5 Aplicativo C-I5: “Sectorización” .....	84
4.1.6 Aplicativo CI6: “Automatización encofrados zapatas” .....	104
4.1.7 Aplicativo CI7: “Automatización encofrados columnas” .....	116
4.1.8 Aplicativo CI8: “Automatización encofrados vigas” .....	126
4.1.9 Aplicativo CI9: “Automatización encofrados losas” .....	132
4.1.10 Aplicativo CI10: “BIM4D proceso constructivo” .....	139
4.1.11 Aplicativo CP1: “Interoperabilidad Revit-cronograma maestro”.....	151
4.1.12 Aplicativo CE1: “BIM RA-RV” .....	165
4.1.13 Aplicativo CE2: Optimización del tiempo de desencofrado .....	181
<b>Capítulo V. Análisis y discusiones de resultados .....</b>	211
5.1 Análisis .....	211
5.1.1 Implementaciones en aspectos estructurales.....	212
5.1.2 Implementaciones en aspectos constructivos .....	212
5.2 Discusiones y resultados .....	215
<b>Capítulo VI. Validación de las aplicaciones desarrolladas .....</b>	222
6.1 Validación profesional # 1 .....	224
6.2 Validación profesional # 2 .....	225
6.3 Validación profesional # 3 .....	226
6.4 Validación profesional # 4 .....	227
6.5 Validación profesional # 5 .....	228
<b>Conclusiones.....</b>	230
<b>Recomendaciones .....</b>	232
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	235
<b>Anexos .....</b>	237

---

<b>Anexo 01:</b> Duplicidad mediante el uso de “Level-Location” para “Structural Columns” .....	238
<b>Anexo 02:</b> LocationPoint”, puntos proyectados en el plano Z=0. ....	239
<b>Anexo 03:</b> Duplicidad mediante el uso de “Solid Class” .....	240
<b>Anexo 04:</b> Uso de “vectores” .....	241
<b>Anexo 05:</b> ElementType sin usar. ....	242
<b>Anexo 06:</b> DLL usados. ....	243
<b>Anexo 07:</b> Mejora en tiempos de ejecución. ....	243

## Resumen

Esta tesis investiga la integración de la gestión visual en ingeniería civil, con énfasis en modelos BIM y la representación de resultados estructurales mediante software como ETABS y Revit. Aunque estas herramientas han mejorado la visualización gráfica, la interpretación de esfuerzos aún depende de gráficos y tablas numéricas que exigen un análisis cuidadoso.

Se destaca el uso del lenguaje C# para personalizar y automatizar funciones en Revit, mejorando la eficiencia en procesos estructurales y constructivos. La metodología BIM se adopta como base para optimizar la gestión de información en proyectos de edificación. Un aporte central de esta investigación es el desarrollo de herramientas propias creadas por el autor, que integran programación orientada a objetos, inteligencia artificial, realidad mixta, IoT, sensores inalámbricos y Arduino. Estas soluciones permiten monitorear y analizar procesos constructivos en tiempo real dentro de un entorno colaborativo, ofreciendo una innovación tecnológica inédita en estudios previos relacionados con BIM.

Asimismo, se incorporan principios de Lean Construction como la mejora continua y la reducción de desperdicios, lo que favorece una gestión más ágil y precisa. La combinación de BIM y Lean potencia la comunicación, el análisis visual y la toma de decisiones basada en datos.

El objetivo principal es desarrollar 15 aplicaciones en Revit, enfocadas en automatizar tareas y facilitar la interpretación de resultados estructurales y constructivos. Este trabajo propone una visión innovadora y sostenible para la ingeniería civil, integrando tecnologías emergentes para mejorar la eficiencia y calidad en la ejecución de proyectos.

Palabras clave: Gestión visual, BIM, IoT, Lean, automatización, sensores inalámbricos, C#.

## **Abstract**

This thesis explores the integration of visual management in civil engineering, focusing on BIM models and the visualization of structural results using software such as ETABS and Revit. Although these tools have advanced in graphical representation, the interpretation of structural forces still relies on graphics and numerical tables, requiring careful analysis.

The use of C# programming is highlighted for customizing and automating functionalities in Autodesk Revit, enhancing efficiency in structural and construction processes. The BIM methodology is adopted as a foundation to optimize information management in building projects. A central contribution of this research is the development of original tools entirely designed and programmed by the author, integrating object-oriented programming, artificial intelligence, mixed reality, IoT, wireless sensors, and Arduino. These tools enable real-time monitoring and analysis of construction processes in a collaborative environment, offering technological innovation not previously seen in BIM-related studies.

In addition, Lean Construction principles such as continuous improvement and waste reduction are incorporated, supporting more agile and precise project management. The combination of BIM and Lean enhances communication, visual data analysis, and decision-making based on accurate information.

The main objective is the development of 15 Revit applications focused on automating tasks and facilitating the interpretation of structural and construction data. This work presents an innovative and sustainable approach to civil engineering by integrating emerging technologies to improve the efficiency and quality of project execution.

**Keywords:** Visual management, BIM, IoT, Lean, automation, wireless sensors, C#.

## Prólogo

En la actualidad, la ingeniería civil se encuentra en una encrucijada donde la innovación tecnológica y la necesidad de optimización de procesos se entrelazan de manera ineludible.

Este trabajo de tesis, desarrollado en la línea de investigación de la programación digital aplicada a la ingeniería civil, se erige como un testimonio del potencial transformador que ofrecen las herramientas modernas de computación. La integración de estas tecnologías no solo redefine la manera en que se conciben y ejecutan los proyectos de edificación, sino que también establece un nuevo estándar en la gestión de la información y la toma de decisiones.

El uso de herramientas modernas de computación, como el modelado de información de construcción (BIM), ha revolucionado el diseño virtual de edificaciones. Estas plataformas permiten a los profesionales visualizar y simular estructuras en un entorno tridimensional, facilitando la identificación de problemas antes de que se materialicen en el sitio de construcción. La capacidad de manipular datos en tiempo real y de colaborar de manera efectiva con diferentes disciplinas es un avance significativo que mejora la calidad y la eficiencia de los proyectos. A través de lenguajes de programación como C# y herramientas como la API de Revit, se pueden desarrollar aplicaciones personalizadas que optimizan el flujo de trabajo y permiten una gestión visual más efectiva de los resultados. La automatización de tareas repetitivas y la implementación de algoritmos avanzados no solo ahorran tiempo, sino que también incrementan la precisión en el diseño y análisis estructural.

Este trabajo no solo se limita a la teoría, sino que se adentra en la práctica, proponiendo soluciones innovadoras que integran la programación digital con el diseño virtual de edificaciones. La sinergia entre estas disciplinas promete transformar la forma en que se gestionan y ejecutan los proyectos de construcción, estableciendo un camino hacia una ingeniería civil más eficiente, precisa y adaptativa.

Mag. Ing. Víctor Pool Rojas Yupanqui

## **Lista de tablas**

Tabla N° 2.1: Definiciones de planificación .....	28
Tabla N° 2.2: Definiciones de sectorizaciones .....	37
Tabla N° 2.3: Definiciones de automatización .....	38
Tabla N° 2.4: Definiciones de BIM .....	38
Tabla N° 2.5: Definiciones de concreto masivo .....	52
Tabla N° 2.6: Definiciones de Arduino .....	53
Tabla N° 3.1: Aspectos estructurales .....	55
Tabla N° 3.2: Aplicativo ED-1 .....	55
Tabla N° 3.3: Procesos de ejecución aplicativo ED-1 .....	57
Tabla N° 4.1: Aspectos constructivos .....	63
Tabla N° 4.2: Visualización de automatizaciones .....	64
Tabla N° 4.3: Procesos de ejecución aplicativo CI-1 .....	67
Tabla N° 4.4: Procesos de ejecución aplicativo CI-2 .....	72
Tabla N° 4.5: Procesos de ejecución aplicativo CI-3 .....	76
Tabla N° 4.6: Procesos de ejecución aplicativo CI-4 .....	80
Tabla N° 4.7: Condiciones de sectorización .....	87
Tabla N° 4.8: Procesos de ejecución aplicativo CI-5 .....	88
Tabla N° 4.9: Procesos de ejecución aplicativo CI-6 .....	107
Tabla N° 4.10: Procesos de ejecución aplicativo CI-7 .....	118
Tabla N° 4.11: Procesos de ejecución aplicativo CI-8 .....	128
Tabla N° 4.12: Procesos de ejecución aplicativo CI-9 .....	134
Tabla N° 4.13: Procesos de ejecución aplicativo CI-10 .....	140
Tabla N° 4.14: Coloración para procesos de columnas y placas .....	145
Tabla N° 4.15: Coloración para procesos de viga .....	146
Tabla N° 4.16: Coloración para procesos de losa .....	148
Tabla N° 4.17: Resumen coloración de procesos constructivos .....	149
Tabla N° 4.18: Procesos de ejecución aplicativo CP-1 .....	152
Tabla N° 4.19: Procesos de ejecución aplicativo CE-1 .....	167
Tabla N° 4.20: Procesos de ejecución aplicativo CE-2 .....	184
Tabla N° 4.21: Resumen costos unitarios de implementos Arduinos .....	192
Tabla N° 4.22: Diferencia entre sensores de temperaturas .....	193

## **Lista de figuras**

Figura N° 2.1: Estructura genérica del ciclo de vida de un proyecto. ....	31
Figura N° 2.2: Definición equivocada del ciclo de vida con grupos de procesos.....	35
Figura N° 2.3: Relación fases del ciclo de vida de un proyecto y los grupos de procesos. ....	35
Figura N° 2.4: Fases y los grupos aplicados de manera superpuesta. ....	36
Figura N° 2.5: Grupo de procesos de “Control” como grupo de procesos de “fondo” .....	37
Figura N° 2.6: Diferentes objetivos de un modelado BIM. ....	41
Figura N° 2.7: Columna modelada como un solo objeto desde el “Level 0” hasta “Level 3” ..	42
Figura N° 2.8: Columna modelada de acuerdo al proceso constructivo. ....	42
Figura N° 2.9: Procedimiento manual para dibujar un muro en 4 segundos. ....	43
Figura N° 2.10: Información no gráfica que debe ser introducida al modelo BIM.....	44
Figura N° 2.11: Pilares de BIM: Visualización-Información-Automatización.....	45
Figura N° 2.12: Ejemplo del uso del método “LookupParameter(string nombreParámetro)” .	46
Figura N° 2.13: Resumen desde la página fuente “apidocs.co”. ....	48
Figura N° 2.14: Resumen de los conceptos de C# y de la programación Revit API.....	49
Figura N° 2.15: Selección por intervención del usuario y por codificación. ....	50
Figura N° 2.16: Codificación en Dynamo-Python y uso la clase “FilteredElementCollector” ..	50
Figura N° 2.17: Resultado de la codificación tanto en C# como en Dynamo-Python. ....	51
Figura N° 2.18: Sensores “DTH11” y “DS18B20”. ....	53
Figura N° 2.19: Diferentes placas típicas de Arduino .....	54
Figura N° 3.1: Proyecto Revit estructuras-ETABS.....	58
Figura N° 3.2: Programación C# como el “HUB”.....	58
Figura N° 3.3: Ejecución del aplicativo “ED-1” .....	59
Figura N° 3.4: Secciones de columnas de Revit y ETABS.....	60
Figura N° 3.5: Secciones de vigas de Revit y ETABS automatizadas. ....	60
Figura N° 3.6: Vista en planta del proyecto.....	62
Figura N° 4.1: Coloración de layers en AutoCAD .....	68
Figura N° 4.2: Creación de los tipos de zapatas en Revit .....	68
Figura N° 4.3: Método “Duplicate()” de la clase “ElementType” .....	69
Figura N° 4.4: Importación de planos AutoCAD en Revit .....	69
Figura N° 4.5: Ejecución del aplicativo “CI-1” .....	70
Figura N° 4.6: Resultado del aplicativo “CI-1” .....	70
Figura N° 4.7: Coloración de layers en AutoCAD .....	73
Figura N° 4.8: Importación de planos AutoCAD en Revit .....	73
Figura N° 4.9: Ejecución del aplicativo “Modelado automatizado de columnas “ .....	74
Figura N° 4.10: Resultado del aplicativo “CI-2” .....	74
Figura N° 4.11: Importación de planos AutoCAD en Revit.....	76
Figura N° 4.12: Ejecución del aplicativo “Modelado automatizado de vigas “ .....	77
Figura N° 4.13: Creación de los diferentes tipos de vigas desde CAD .....	77
Figura N° 4.14: Selección del nivel CAD importado .....	78

Figura N° 4.15: Resultado del aplicativo “CI-3” .....	78
Figura N° 4.16: Layers desde AutoCAD .....	81
Figura N° 4.17: Importación de planos de planta en Revit .....	81
Figura N° 4.18: Ejecución del aplicativo “Modelado automatizado de losas” .....	82
Figura N° 4.19: Resultado aplicativo “CI-4” a diferentes niveles importados desde el CAD .....	83
Figura N° 4.20: Resultado del aplicativo “CI-4” .....	83
Figura N° 4.21: Ejecución del aplicativo a un proyecto de edificación.....	86
Figura N° 4.22: Modelado de losas con uso del aplicativo “CI-4” .....	88
Figura N° 4.23: Creación de los “ParameterFilterElement” .....	89
Figura N° 4.24: Colores usados para la visualización de la automatización de sectores.....	90
Figura N° 4.25: Automatización con 2 sectores. ....	90
Figura N° 4.26: Automatización con 3 sectores .....	91
Figura N° 4.27: Automatización con 4 sectores .....	91
Figura N° 4.28: Automatización con 5 sectores .....	92
Figura N° 4.29: Automatización con 6 sectores .....	92
Figura N° 4.30: Opciones del aplicativo CI-4 .....	93
Figura N° 4.31: Automatización con 2 sectores paralelas al eje “X” .....	93
Figura N° 4.32: Automatización con 2 sectores paralelas al eje “Y” .....	94
Figura N° 4.33: Automatización con 3 sectores paralelas al eje “X” .....	95
Figura N° 4.34: Automatización con 3 sectores paralelas al eje “Y” .....	96
Figura N° 4.35: Resumen de la mejor solución de sectorización. ....	97
Figura N° 4.36: Demostración del uso del aplicativo “CI-5” para un proyecto de edificación. ....	97
Figura N° 4.37: Recomendaciones de modelado en elementos verticales.....	99
Figura N° 4.38: Error común al modelar losas.....	100
Figura N° 4.39: Buena práctica de modelado de losas .....	100
Figura N° 4.40: Elementos del casco estructural referenciadas con un parámetro diferente	101
Figura N° 4.41: Parámetro compartido “PISO” .....	102
Figura N° 4.42: Programación realizada en Python.....	102
Figura N° 4.43: Programación realizada en el lenguaje de programación C#.....	103
Figura N° 4.44: Simplificación de la programación .....	104
Figura N° 4.45: Modelo de las zapatas en Revit .....	107
Figura N° 4.46: Creación de parámetro “AreaEncofrado” en el software de Revit .....	108
Figura N° 4.47: Creación de un parámetro “SECTOR” en el software Revit.....	109
Figura N° 4.48: Creación de un tipo de muro con el nombre "tipoEncofrado1". .....	110
Figura N° 4.49: Asignación de materiales a muros.....	111
Figura N° 4.50: Creación del parámetro tipo texto “FUNCIÓN” .....	112
Figura N° 4.51: Creación del parámetro "IDhost" .....	112
Figura N° 4.52: Creación del parámetro "AreaEncofrado". .....	113
Figura N° 4.53: Ejecución del aplicativo “Automatización encofrados zapatas “ .....	113
Figura N° 4.54: Resultado automatización ejemplo 1. ....	114
Figura N° 4.55: Resultado automatización ejemplo 2. ....	114
Figura N° 4.56: Resultado automatización ejemplo 3 .....	115
Figura N° 4.57: Exportación información a Excel.....	116
Figura N° 4.58: Nombres de los parámetros asociados a categorías respectivas .....	119

Figura N° 4.59: Automatización de la creación de “parámetros de proyecto” en Revit .....	120
Figura N° 4.60: Modelado del proyecto de edificación .....	121
Figura N° 4.61: Ejecución del aplicativo “Automatización encofrados columnas” .....	121
Figura N° 4.62: Resultados de la automatización .....	122
Figura N° 4.63: Encofrado de placas con diferente forma.....	123
Figura N° 4.64: Automatización modelado encofrado descontando encuentros .....	123
Figura N° 4.65: Introducción de información automática del encofrado.....	124
Figura N° 4.66: Automatización modelado encofrado para “Structural Columns, Walls” .....	125
Figura N° 4.67: Encofrado de columnas inclinadas .....	125
Figura N° 4.68: Nombres de los parámetros asociados a categorías respectivas .....	129
Figura N° 4.69: Automatización de la creación de “parámetros de proyecto” en Revit .....	129
Figura N° 4.70: Modelado del proyecto de edificación .....	130
Figura N° 4.71: Ejecución del aplicativo “Automatización encofrados vigas” .....	130
Figura N° 4.72: Resultados de la automatización .....	131
Figura N° 4.73: Modelado automatizado de laterales de vigas con losa, color “magenta” .....	131
Figura N° 4.74: Encofrado de vigas de sección variable .....	132
Figura N° 4.75: Nombres de los parámetros asociados a categorías respectivas .....	135
Figura N° 4.76: Automatización de la creación de “parámetros de proyecto” en Revit .....	136
Figura N° 4.77: Modelado del proyecto de edificación .....	137
Figura N° 4.78: Ejecución del aplicativo “Automatización encofrados losas” .....	137
Figura N° 4.79: Resultados de la automatización .....	138
Figura N° 4.80: Resultados de la automatización .....	138
Figura N° 4.81: Automatización del modelado encofrado columnas, vigas, losas, muros .....	139
Figura N° 4.82: Modelo en Revit previamente sectorizado .....	141
Figura N° 4.83: Partidas características de un casco estructural .....	142
Figura N° 4.84: Agrupamiento de actividades de acuerdo al elemento estructural .....	143
Figura N° 4.85: Creación de las partidas en el modelo BIM.....	144
Figura N° 4.86: Procesos relativos a la categoría “Structural Columns” .....	145
Figura N° 4.87: Procesos relativos a la categoría “Structural Framing” .....	146
Figura N° 4.88: Procesos relativos a la categoría “Floors” .....	147
Figura N° 4.89: Ejecución del aplicativo “BIM4D proceso constructivo” .....	150
Figura N° 4.90: Tren de actividades para el casco estructural .....	153
Figura N° 4.91: Procesos típicos del casco estructural .....	154
Figura N° 4.92: Creación de parámetros para los elementos estructurales .....	155
Figura N° 4.93: Creación de un parámetro compartido.....	156
Figura N° 4.94: Información completada para todos los elementos.....	157
Figura N° 4.95: Información completa para un elemento.....	158
Figura N° 4.96: Opción “TREN DE TRABAJO” del aplicativo CP-1 .....	159
Figura N° 4.97: Ejecución completa del aplicativo CP-1 .....	160
Figura N° 4.98: Resultados del aplicativo CP-1 .....	161
Figura N° 4.99: Resultados aplicativo CP-1 para diferentes sectores .....	162
Figura N° 4.100: Planificación intermedia con 4 semanas. Resultados automatizados .....	163
Figura N° 4.101: Flujo de trabajo para el proceso de automatización en una edificación....	164
Figura N° 4.102: “Control del modelado BIM” en proyectos BIM.....	165

Figura N° 4.103: Almacenamiento de planos después de su construcción .....	166
Figura N° 4.104: Logo de Unity, creado el 8 de junio del 2005.....	168
Figura N° 4.105: Mapeo de procesos para la aplicación de “RV-RA”.....	168
Figura N° 4.106: Exportación formato “.FBX” .....	169
Figura N° 4.107: Código automatizado para la exportación modelo BIM formato “. FBX” ....	170
Figura N° 4.108: Importación del modelo “.FBX” desde Unity .....	170
Figura N° 4.109: Automatización códigos QR .....	171
Figura N° 4.110: Plataforma Android y extensión “.apk” .....	172
Figura N° 4.111: Impresión código QR en una hoja bond A4 .....	173
Figura N° 4.112: Información del proceso constructivo linkeado al modelo en RV-RA .....	173
Figura N° 4.113: BIM4D aplicado a un proyecto hospitalario.....	174
Figura N° 4.114: Desarrollo de realidad virtual con software Unity.....	175
Figura N° 4.115: Ejecución del aplicativo “BIM RV-RA” .....	176
Figura N° 4.116: Modelo RA siguiente el proceso constructivo del modelo BIM .....	176
Figura N° 4.117: Modelo de RA en escala real .....	177
Figura N° 4.118: Aplicativo BIM4D-RA “CE-1”, descarga en “Play Store” .....	178
Figura N° 4.119: Uso de aplicativo BIM4D-RA “CE-1” .....	178
Figura N° 4.120: Uso de aplicativo BIM4D-RA “CE-1” .....	179
Figura N° 4.121: Modelo BIM con RV.....	179
Figura N° 4.122: Modelo BIM con realidad aumentada. ....	180
Figura N° 4.123: Lentes de realidad mixta. ....	181
Figura N° 4.124: Proyectos de alto rendimiento-desempeño.....	186
Figura N° 4.125: Librería “three.js” contiene 53,462 líneas de código.....	187
Figura N° 4.126: Roadmap para la implementación BIM- IA- Arduino- IoT.....	188
Figura N° 4.127: Herramientas usados en la tesis.....	189
Figura N° 4.128: Modelo BIM en la nube y escritorio.....	189
Figura N° 4.129: Mapeo de procesos 1 .....	190
Figura N° 4.130: Mapeo de procesos 2 .....	191
Figura N° 4.131: Identificación de sensores a ensamblar .....	192
Figura N° 4.132: Sensores de temperaturas. ....	193
Figura N° 4.133: Sensoresantes y después de ser sometido a altas temperaturas.....	194
Figura N° 4.134: Programación del sensor Bluetooth mediante comando AT. ....	195
Figura N° 4.135: Ensamblado virtual y real. Elaboración propia .....	196
Figura N° 4.136: Recomendación de baterías.....	197
Figura N° 4.137: Emparejamiento de sensores con la laptop.....	197
Figura N° 4.138: Sensor introducido en un prototipo de losa de concreto.....	198
Figura N° 4.139: Sensor y prototipo de losa. ....	198
Figura N° 4.140: Ruta de acceso al panel de control de “XAMPP”.....	199
Figura N° 4.141: Ingreso a “phpMyAdmin” .....	200
Figura N° 4.142: Información de temperaturas.....	200
Figura N° 4.143: Ejecución del aplicativo CE2 .....	201
Figura N° 4.144: Aumento de temperatura del sensor.....	201
Figura N° 4.145: Exportación de información de temperaturas .....	202
Figura N° 4.146: Visualización de la información en una página web .....	202

---

Figura N° 4.147: Dashboard de información de temperaturas.....	203
Figura N° 4.148: Almacenamiento y lectura de información. ....	204
Figura N° 4.149: Sensores DTH11 y el sensor DS18B20. ....	204
Figura N° 4.150: Diferencia entre los sensores DTH11 y DS18B20.....	205
Figura N° 4.151: Control de riesgo de que los sensores estén fallando .....	206
Figura N° 4.152: Estructura de una página WEB y los principales frameworks utilizados ....	207
Figura N° 4.153: Modelo BIM en la nube actualizado en tiempo real.....	207
Figura N° 4.154: Visualización-Información-Automatización del modelo BIM en la nube.....	208
Figura N° 4.155: Formato A3 con diferentes alternativas de solución.....	210

## Capítulo I. Introducción

La presente tesis investiga y propone nuevas formas de gestionar la información de un proyecto de construcción usando herramientas de programación tanto en hardware (sensores Arduino) como en software (C, C#, Revit API). Se emplea la metodología BIM (Building Information Modeling), por sus siglas en inglés, para gestionar la información de un proyecto haciendo uso de herramientas tecnológicas, como, por ejemplo: sensores Arduino, realidad virtual-aumentada, IA, machine learning, IoT, C#, etc. La presente tesis propone 2 aspectos bien importantes en la investigación, por un lado, una implementación en aspecto estructural y por otro lado implementaciones en aspectos constructivos. Enlazar estas 2 fases importantes dentro de todo proyecto haciendo uso de herramientas de programación, enriquecerá y mejorará el trabajo colaborativo optimizando los flujos de trabajo tanto para la obtención y/o comunicación de la información.

Esta tesis no busca realizar una plantilla y/o codificación “generalizada” para todo tipo de proyecto. Esto sería imposible, ya que, por definición, todo proyecto es único de acuerdo a los desperdicios, riesgos y stakeholders que se manifiesten sobre este. Esta tesis, propone formas diferentes de retar un proyecto de ingeniería, y ya dependerá de la capacidad resolutiva y/o criterio del ingeniero para poder adaptarlo a cada proyecto de ingeniería agregando funcionalidades, clases, métodos y/o mejorarlo.

### 1.1 Generalidades

La ciencia, tecnología e ingeniería han avanzado a pasos agigantados (Kurzweil, 2005), por lo que han surgido nuevas metodologías que dan mayor grado de probabilidad en alcanzar los objetivos de nuestros proyectos (Mulcahy, 2003). La metodología BIM es una de ellas, lo que ayuda a poder centralizar toda la información de un proyecto en un modelo digital totalmente colaborativo. El que los ingenieros, tengan conocimiento y uso de estas

herramientas metodológicas, les facilitan el trabajo al obtener resultados inmediatos y poder compartirlos de manera colaborativa entre los principales actores del proyecto (Kloppenborg, 2018). Poco a poco se le está dando el uso de realidad aumentada en obras de edificaciones y viales, ya que esto les permite poco a poco a los ingenieros, capataces, Last Planner, dejar de lado el uso de planos 2D y optar por la visualización de los elementos estructurales a través del celular con información de manera detallada y actualizable en tiempo real (Boseley, 2018).

En el Perú, el conocimiento de programación orientada a objetos (POO) aplicada a procesos BIM para su automatización respectiva, aún no se desarrolla a niveles tan deseados como los que se viene demostrando en países de Europa (Booch, 1998). Estas herramientas de programación, no solo permite realizar realidades aumentadas que de alguna u otra manera genera “cuevas reales” permitiéndoles ver oportunidades ergonómicas de los trabajadores simuladas en obra real, sino que también permite poder gestionar la información de nuestro proyecto acorde a las características, tipo, complejidad y envergadura que tenga el proyecto. Es importante contar con estas herramientas de programación en proyectos de ingeniería, ya que la ingeniería es la ciencia de la aproximación, la ciencia del muestreo, ya que se trabaja con curvas de nivel, ensayos de suelos, topografías que tratan de alguna manera simular la realidad del campo, por lo que, al estar en obra, se pueda tener resultados que estén fuera de los datos analizados, haciendo que se tenga que modificar la información de nuestro proyecto. La única ciencia exacta, son las ciencias matemáticas.

Existen investigaciones previas que hacen uso de una programación visual llamada “Dynamo” que es característico del software Revit (Monjas, 2018). La gran ventaja de este tipo de programación es que es de fácil aprendizaje ya que su “core de programación” se basa en unir nodos existentes de manera personalizada, lo que no necesita hacer uso de programación por codificación. La gran desventaja que tiene la programación visual “Dynamo” es que, para proyecto de gran complejidad, la velocidad de respuesta de su motor estructural programático,

pierde ventaja y comparación con los resultados que se obtienen con programación con código, como lo puede ser la programación orientada con el lenguaje C# (Aish, 2020).

Es por eso que se propone el desarrollo de aplicativos en el programa REVIT de AUTODESK en el lenguaje de programación C# a través de la plataforma de VISUAL STUDIO versión 2022 para aplicaciones en ingeniería civil que permitan una efectiva toma de decisiones.

## 1.2 Descripción del problema de investigación

### 1.2.1 Problemática general

Actualmente existe muchos softwares en el mercado que solo tienen una solución única o que son aplicables para determinado tipo de proyecto con características específicas, que en muchos casos con la programación orientada a objetos C# se puede optimizar. Se busca mejorar y potenciar estos aplicativos mediante el uso de programación orientada a objetos con lenguaje C#, Revit API y ETABS API haciendo uso de la plataforma Visual Studio versión 2022. Esto permitirá mejorar la productividad en el uso de recursos de proyectos de ingeniería de edificaciones en los aspectos constructivos.

### 1.2.2 Problemática específica

La implementación de la metodología BIM (Building Information Modelling) en la construcción en el Perú, enfrentaría varias problemáticas:

- Cultura y Capacitación: La adopción de BIM requiere una cultura organizacional que valore la colaboración, la transparencia y el uso de tecnología. Además, se necesita capacitación para que los profesionales de la construcción comprendan y utilicen eficazmente las herramientas BIM.
- Infraestructura Tecnológica: La implementación de BIM requiere una infraestructura tecnológica adecuada, incluidos equipos informáticos potentes y software especializado. En

algunas áreas del Perú, especialmente en regiones rurales o menos desarrolladas, puede haber limitaciones en la infraestructura tecnológica disponible.

- Costo: La adopción inicial de BIM puede implicar costos significativos, tanto en términos de inversión en software y hardware como en capacitación de personal. Esto puede ser una barrera para las empresas, especialmente las más pequeñas o aquellas con recursos limitados.
- Interoperabilidad: La interoperabilidad entre diferentes plataformas y software BIM puede ser un desafío. Es fundamental que los diversos actores de la construcción puedan intercambiar datos de manera fluida para garantizar la eficacia de la metodología BIM.
- Normativas y Estándares: Es importante contar con normativas y estándares claros que regulen la implementación de BIM en la construcción peruana. Esto puede requerir la actualización de regulaciones existentes y la creación de nuevas políticas para adaptarse a las especificidades del país.
- Cambio de Mentalidad: La transición hacia BIM puede requerir un cambio de mentalidad en la industria de la construcción peruana. Esto implica pasar de enfoques tradicionales a modelos más colaborativos y centrados en los datos.
- Educación y Formación Continua: Es fundamental garantizar que las instituciones educativas y los profesionales de la construcción estén adecuadamente preparados en el uso de BIM. Se necesitan programas de educación continua y actualización para mantenerse al día con las últimas tendencias y tecnologías en BIM.
- Generación excesiva e impresión de planos. Por eso se opta como solución dentro del desarrollo de mi tesis es el desarrollo y el uso de aplicativos de realidad virtual y aumentada, para migrar de los planos 2D hacia las nuevas tendencias tecnológicas, siendo esta

herramienta enfocada para el uso del personal de oficina técnica que les ayude a mejorar y/o visualizar el conocimiento que muchas veces no se en los planos 2D.

Los proyectos de ingeniería son resultado de un proceso integrador entre los principales stakeholders del proyecto, por ejemplo, el estructural, arquitecto, mecánico, sanitario, constructor, proveedor, etc. El flujo de procesos que se da entre el estructural y el diseño del modelo BIM hasta la fecha sigue siendo un proceso manual y rutinario. Lo que busca el desarrollo de esta investigación es reemplazar el procedimiento manual por un proceso automatizado del modelado BIM desde los CAD.

### 1.3 Objetivos del estudio

#### 1.3.1 Objetivos general

Desarrollar aplicativos en el programa REVIT de AUTODESK en el lenguaje de programación C# a través de la plataforma de VISUAL STUDIO versión 2022 para aplicaciones en ingeniería civil que permitan una efectiva toma de decisiones.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar aplicaciones en el programa REVIT de AUTODESK usando el lenguaje de programación C# para lograr herramientas de gestión visual de post proceso del programa ETABS en el diseño estructural.
- Desarrollar aplicaciones en el programa REVIT de AUTODESK usando el lenguaje de programación C# para lograr herramientas de gestión visual automatizando procesos BIM-LEAN para la construcción de edificaciones.

## 1.4 Hipótesis

### 1.4.1 Hipótesis general

La gestión visual implementada a través de la programación orientada a objetos con C#, permitirán a los ingenieros la toma de decisiones de manera efectiva en proyectos de edificaciones tanto en aspectos estructurales como en aspectos constructivos.

### 1.4.2 Hipótesis específica

- La gestión visual implementada a través de la programación orientada a objetos con C#, permitirán a los ingenieros la toma de decisiones de manera efectiva en proyectos de edificaciones en aspectos estructurales.
- La gestión visual implementada a través de la programación orientada a objetos con C#, permitirán a los ingenieros la toma de decisiones de manera efectiva en proyectos de edificaciones en aspectos constructivos.

## 1.5 Antecedentes investigativos

El desarrollo de proyectos de edificaciones en ingeniería civil conlleva aspectos en la especialidad de estructuras y en la etapa de construcción.

Las estructuras son modeladas matemáticamente con programas de cómputo, como el SAP2000 (CSI, 2022a) y el ETABS (CSI, 2022b), que permiten la incorporación del modelo estructural a la computadora empleando comandos gráficos básicos. Con relación al postproceso, los avances con relación a los programas de cómputo mencionados anteriormente, permiten la visualización de los resultados del análisis dinámico y fuerzas en los elementos estructurales debido a las cargas. Sin embargo, la visualización de los esfuerzos de diseño se presenta en módulos gráficos anexos y tablas con resultados numéricos que no tienen una representación gráfica óptima.

El control de procesos de construcción en edificaciones es desarrollado a través de muchos softwares existentes en el mercado, como, por ejemplo: MS EXCEL, Ms Project, Primavera, ASTA POWERPROJECT. Debido a que la API (Application Programming Interface) de Revit Autodesk está abierta a todos sus usuarios, gente con conocimientos avanzados de programación tanto en Python como en C#, lo usan para mejorar la interfaz y/o potenciar la gestión de información para proyectos con características particulares, automatización de procesos, como, por ejemplo, modelado automatizado de encofrado, automatización de modelado de acero y/o elementos estructurales, arquitectónicos, MEP, etc.

Los programas en C# y PYTHON en el estado del arte presentan aplicaciones básicas en REVIT. Estos lenguajes de programación permiten potenciar al REVIT, permitiendo darle mayor alcance y mejorar el entorno de trabajo con la obtención de mejores resultados.

El desarrollo de proyectos se sigue desarrollando de manera tradicional, como, por ejemplo, con el uso del software CAD, en la que conduce al desarrollo de actividades de manera manual, ya sea para la extracción de información o intercambio de ella. Esto trae poca eficiencia, porque a pesar de contar con buenas herramientas computacionales, no se está aprovechando el potencial que esta puede brindar. A falta de innovación y baja productividad que esto trae, se deben de estudiar nuevas tecnologías para la concepción, diseño y gestión de la información. (Luis Quispe Amésquita- tesis: *“Aplicaciones de herramientas BIM en el diseño paramétrico y generativo para la concepción de estructuras complejas”*, 2021).

Investigaciones realizadas en obras civiles que evalúan el impacto de la implementación de la metodología BIM para el control de tiempos y costos para proyectos petroquímicos, recomiendan ahondar más en la investigación del uso de Dynamo basado en la programación visual para gestionar la información o tener un mejor uso de ella de acuerdo a las necesidades del proyecto o tener herramientas y conocimientos más avanzados para la elaboración de plugins adicionales para el software Revit basándose en una programación

orientada a objetos con C#. (José L. Zarzo Aquise- tesis: *"Implementación de un sistema de seguimiento y control usando BIM en las obras civiles de un proyecto petroquímico"*, 2019).

Por otra parte existen investigaciones con resultados totalmente satisfactorios a través de nodos personalizados previamente programados que permiten gestionar la información en etapas de planeamiento de obra, automatizar la creación de geometría basada en datos para el modelado BIM 3D, automatizar procesos manuales y su posterior ejecución de un hotel de 3 estrellas con 7 pisos y 4 sótanos incluidos en la ciudad de Lima, en donde se hizo uso de una herramienta de Revit Autodesk muy interesante llamada Dynamo, que se basa en herramientas de programación visual siendo de fácil acceso para programadores como no programadores sin tener altos conocimientos de programación. Dynamo, conlleva nodos ya personalizados, listos para ser ejecutados. (Diego A. Monjaras Bottger- tesis: *"Uso de Dynamo para Revit en la mejora de la gestión de la información y modelado de un hotel"*, 2018).

## Capítulo II. Marco teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Programación computacional

C# y Visual Studio son elementos clave en el desarrollo de software, mientras que Revit y su API son herramientas específicas para modelado y gestión de información en el ámbito de la construcción y el diseño arquitectónico. Aquí hay una interpretación conceptual:

C#: Lenguaje de programación desarrollado por Microsoft, utilizado en el marco de sus plataformas .NET. Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE) que ofrece soporte para una variedad de lenguajes de programación, incluyendo C#, C++, Visual Basic, Java, Python, entre otros, así como lenguajes de marcado como HTML, CSS y XML. Revit es un software de modelado y gestión de información utilizado en arquitectura, ingeniería y construcción. Revit API es una interfaz de programación de aplicaciones de Revit, que permite a los usuarios extender y personalizar las funcionalidades del software mediante la codificación en C# u otros lenguajes compatibles. La API proporciona clases, métodos, atributos y propiedades que pueden ser utilizados para interactuar con los datos y procesos dentro de Revit.

Las plantillas personalizadas se utilizan configurando en Visual Studio el uso de las clases proporcionadas por la API de Revit, los desarrolladores pueden crear plantillas personalizadas que sirven como base para ampliar y mejorar las capacidades del software Revit, superando las limitaciones de las herramientas de programación visual, como por ejemplo, Dynamo. Estas plantillas permiten desarrollar soluciones específicas para las necesidades de diseño y gestión en el contexto de Building Information Modeling (BIM). Haciendo generado esta conexión tipo puente entre el software Revit y Visual Studio a través de su Revit API, se hacen uso de diferentes referencias, using, clases, métodos y atributos como, por ejemplo:

**Referencias:**

- 1) RevitAPI.dll
- 2) RevitAPIUI.dll
- 3) WindowsBase
- 4) System.Windows
- 5) System.Windows.Form
- 6) System.Windows.Presentation

**Using:**

- 1) using Autodesk.Revit.ApplicationServices;
- 2) using Autodesk.Revit.Attributes;
- 3) using Autodesk.Revit.DB;
- 4) using Autodesk.Revit.UI;
- 5) using Autodesk.Revit.UI.Selection;

**Clases:**

- 1) Document
- 2) UIDocument
- 3) Reference
- 4) FamilyInstance
- 5) Views
- 6) FilteredElementCollector
- 7) TaskDialog
- 8) Wall
- 9) WindowsForm
- 10) OverrideGraphicSettings
- 11) ElementTransformUtils

Esto permitirá la automatización de procesos orientados tanto a la gestión y dirección de proyectos como procesos orientados al producto y poder tomar decisiones mediante una buena gestión visual, permitiendo obtener los objetivos deseados.

Según González (2020), la gestión visual es una potente herramienta en la industria de la construcción que permite identificar la actividad desarrollada por cada *stakeholder* ubicado tanto en la obra como fuera de la obra mediante un trabajo colaborativo; así como el porcentaje de avance físico en los diferentes recursos relacionados al proyecto de construcción (materiales, mano de obra, etc.).

Las técnicas de presentación visual permiten crear planes eficaces en los equipos de trabajo para proyectos de cualquier industria (Teixidó, 2017).

La gestión visual es una importante estrategia de comunicación cognitivamente efectiva para transmitir información y es una estrategia de la gestión de la producción (Tezel et al., 2016).

#### 2.1.2 Planificación:

En la siguiente tabla 2.1, se da la definición de “planificación de proyecto” tomando como referencia a una de las guías internacional más usadas y a la empresa pionera en proyectos más conocida en el mundo de la innovación.

Tabla N° 2.1: Definiciones de planificación.

AUTOR	DEFINICIÓN
IBM	La planificación y la gestión de proyectos es un proceso en curso durante el ciclo de vida del proyecto. Puede hacer planes para elementos como por ejemplo presupuestos, planificaciones y diseños y gestionar y hacer un seguimiento de esos elementos. Todos los aspectos de la planificación y la gestión de un proyecto pretenden conseguir objetivos teniendo en cuenta restricciones financieras, temporales y de otro tipo.
PMBOK, (2017) 6ta edición	La planificación de proyectos forma parte de la gestión de proyectos, la cual se vale de cronogramas tales como diagramas de Gantt para dar

	seguimiento al progreso dentro del entorno del proyecto. Es el proceso para cuantificar el tiempo y recursos que un proyecto costará. La finalidad del planteamiento de proyecto es crear un plan de proyecto que un gestor (gestor de proyecto) pueda usar para acompañar el progreso de su equipo.
--	--

La planificación de proyectos se fundamenta en una serie de supuestos que guían las decisiones y acciones durante su ejecución. Estos supuestos se derivan de información proyectiva y lecciones aprendidas de proyectos anteriores, lo que proporciona un contexto para la toma de decisiones y la gestión de riesgos. Todos los proyectos son de naturaleza cambiante, es decir, los proyectos son susceptibles a cambios debido a la complejidad inherente a la ingeniería y la naturaleza dinámica del entorno en el que se desarrolla. La ciencia de la ingeniería se caracteriza por ser una ciencia de aproximación y muestreo, lo que implica que no se puede ejecutar el 100% de lo planificado de manera exacta. Esta naturaleza conflictiva y cambiante de la ingeniería requiere una gestión ágil y adaptable de los proyectos.

Las herramientas tecnológicas juegan un rol importante para gestionar eficazmente la información y adaptarse a los cambios en los proyectos, es crucial contar con herramientas tecnológicas adecuadas. El Building Information Modeling (BIM) se destaca como una de estas herramientas metodológicas, ya que permite gestionar de manera integrada la información relativa a la construcción y el diseño de proyectos. El uso de tecnologías como el BIM facilita la captura, el análisis y la visualización de datos, lo que ayuda a los equipos de proyecto a tomar decisiones informadas y a responder de manera ágil a los cambios en el entorno del proyecto. La disponibilidad y gestión de la información en tiempo real es esencial para la toma de decisiones efectivas en proyectos. La tecnología, especialmente en el contexto del BIM, permite a los equipos de proyecto acceder a información actualizada de manera oportuna, lo que mejora la capacidad de anticipación y respuesta ante cambios en el proyecto. La gestión eficaz de la información mediante tecnologías como el BIM contribuye a la eficiencia y la calidad en la ejecución de proyectos de ingeniería.

Los objetivos de la planificación son:

- 1) Definir estrategias
- 2) Definir objetivos
- 3) Definir procesos y cómo estos se van a iterar e integrar.
- 4) Plan de dirección de proyectos.

### 2.1.3 Ciclo de vida del proyecto

El ciclo de vida de un proyecto se refiere a las diferentes etapas que atraviesa desde su inicio hasta su finalización. Estas fases son esenciales para proporcionar una estructura y guía para la gestión y ejecución del proyecto, y están definidas en términos de sus actividades, hitos y entregables.

Factores que influyen en el número de fases: El número de fases en el ciclo de vida de un proyecto puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo la complejidad y envergadura del proyecto, así como el grado de control deseado sobre el mismo. Estos factores son únicos para cada proyecto y determinarán la cantidad y naturaleza de las fases necesarias para su ejecución exitosa.

Enfoque genérico del ciclo de vida del proyecto: Aunque las fases del ciclo de vida de un proyecto son específicas de cada proyecto, la Guía del PMBOK propone un ciclo de vida genérico que puede ser adaptado para cualquier tipo de proyecto. Este ciclo de vida genérico consta de cuatro fases principales, cada una marcada por un hito y una entrega específica al finalizar.

Importancia de tener un ciclo de vida definido: Contar con un ciclo de vida de proyecto bien definido proporciona un marco de referencia sólido para la gestión exitosa del proyecto. Al establecer claramente las fases, hitos y entregables, los equipos de proyecto pueden planificar

y ejecutar sus actividades de manera más efectiva, gestionar los riesgos de manera proactiva y asegurar la entrega exitosa del proyecto dentro de los plazos y presupuestos establecidos.

Adaptabilidad del ciclo de vida del proyecto: A pesar de tener un ciclo de vida genérico propuesto, es importante reconocer que cada proyecto es único y puede requerir ajustes en el ciclo de vida para satisfacer sus necesidades específicas. La capacidad de adaptar el ciclo de vida del proyecto según las características y requisitos únicos de cada proyecto es fundamental para garantizar su éxito y cumplimiento de objetivos.

En la siguiente Figura 2.1, se da a conocer la Estructura genérica del ciclo de vida de un proyecto propuesta por la Guía del PMBOK (PMI, 2017)

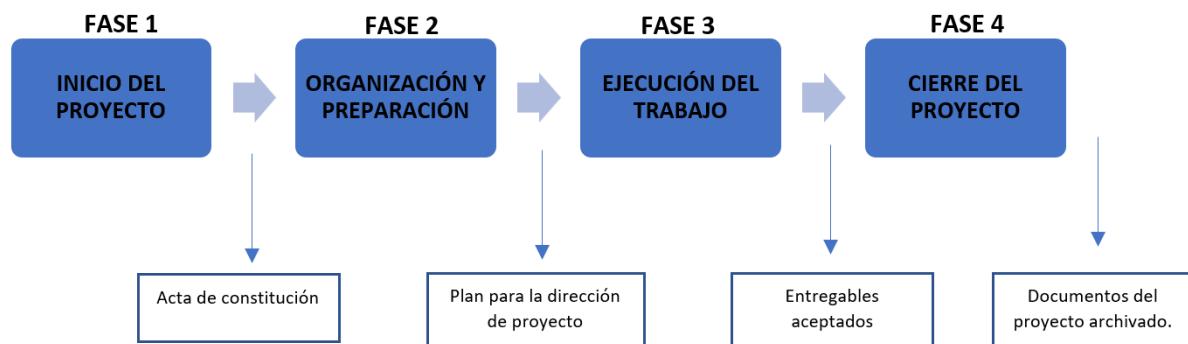


Figura N° 2.1: Estructura genérica del ciclo de vida de un proyecto.

(Fuente: Guía PMBOK 6ta edición)

#### 2.1.4 Procesos

Procesos en la gestión de proyectos: Un proceso se define como un conjunto de actividades relacionadas de manera lógica que tienen como objetivo generar una entregable o resultado específico. En el contexto de la gestión y dirección de proyectos, los procesos juegan un papel fundamental en la planificación, ejecución y control de las actividades necesarias para lograr los objetivos del proyecto.

Naturaleza iterativa de los procesos: La gestión y dirección de proyectos se caracteriza por ser un proceso iterativo, lo que significa que los procesos pueden ser reutilizados y aplicados a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Esta capacidad de reutilización permite optimizar recursos y mejorar la eficiencia en la ejecución de proyectos.

Tipos de procesos según el PMBOK: La Guía del PMBOK identifica dos tipos principales de procesos en la gestión de proyectos: procesos orientados a la gestión y dirección de proyectos, y procesos orientados al producto.

Procesos orientados a la gestión: Los procesos orientados a la gestión son aquellos que se enfocan en la planificación, organización, dirección y control de las actividades del proyecto. Estos procesos son transversales y se aplican en todos los proyectos, independientemente de su complejidad o categoría. Ejemplos de estos procesos incluyen la definición de actividades, la elaboración de cronogramas, la estimación de costos y la identificación de riesgos.

Procesos orientados al producto: Por otro lado, los procesos orientados al producto son aquellos que están específicamente relacionados con la creación y entrega del producto, servicio o resultado final del proyecto. Estos procesos varían según la naturaleza y categoría del proyecto, y pueden incluir actividades como la aprobación de planos, la construcción de estructuras o la implementación de software. La aplicación de estos procesos depende del tipo de proyecto y de las necesidades específicas del producto o resultado final a entrega.

Aplicabilidad del PMBOK: El PMBOK, como guía y estándar reconocido en la gestión de proyectos, proporciona una estructura y recomendaciones para la aplicación de procesos orientados a la gestión en proyectos de cualquier índole y complejidad. Su aplicabilidad a diferentes tipos de proyectos, desde construcción e ingeniería hasta desarrollo de software, radica en su enfoque en los procesos de gestión y dirección que son comunes a todas las áreas y categorías de proyectos.

### 2.1.5 Estructura de desglose de trabajo (EDT)

El proceso de crear la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) se considera fundamental en la gestión del alcance de un proyecto. La EDT es una herramienta clave que permite descomponer jerárquicamente el alcance total del proyecto en entregables y actividades específicas, lo que facilita la planificación, ejecución y control del proyecto.

**Definición y función de la EDT:** La EDT es una representación visual y jerárquica del alcance del proyecto, que muestra de manera estructurada y organizada qué se va a hacer y qué no se va a hacer en el proyecto. La EDT no solo identifica los entregables del proyecto, sino que también define los límites y alcances de las actividades a realizar. Es importante destacar que la EDT no es una lista de actividades ni un organigrama, sino más bien una herramienta para visualizar y gestionar el alcance del proyecto de manera efectiva.

**Relación con la planificación del proyecto:** El proceso de crear la EDT se considera el más importante dentro de la planificación del proyecto, ya que establece la base para la definición y gestión del alcance. Al descomponer el alcance del proyecto en componentes más manejables y definidos, la EDT proporciona una guía clara para la elaboración de planos detallados y la asignación de recursos.

**Aplicación en la gestión de proyectos:** La EDT es un componente fundamental en la gestión de proyectos, ya que sirve como punto de referencia para la asignación de responsabilidades, la estimación de costos y la programación de actividades. Al proporcionar una representación gráfica del alcance del proyecto, la EDT facilita la comunicación y coordinación entre los miembros del equipo y las partes interesadas del proyecto.

**Enfoque según el PMBOK:** La Guía del PMBOK reconoce la importancia de la EDT en la gestión del alcance del proyecto y lo sitúa dentro del área de gestión del alcance. La EDT se considera una herramienta esencial para la gestión efectiva del alcance en proyectos de

cualquier naturaleza y complejidad, y su creación se destaca como un proceso crítico en la planificación y ejecución de proyectos exitosos.

## 2.2 Marco conceptual

### 2.2.1 Fases del proyecto

Una fase del proyecto es un conjunto de actividades relacionadas de manera lógica que culmina con la finalización de uno o más entregables. (Guía del PMBOK, 6da ed.).

#### 2.2.1.1 Hito

Las buenas prácticas de gestión y dirección de proyectos que plantea la Guía del PMBOK, recomienda, que la finalización de cada fase, debe representarse mediante un hito con un entregable determinado. Un hito es una actividad de duración “cero”, que permite hacer una evaluación si lo que se viene haciendo hasta este momento es factible y va acorde a los objetivos del proyecto, o si las cosas van tan mal, que los más sano y profesional sería cancelar el proyecto, ya que no se tienen los motivos por las cuales se inició el proyecto.

#### 2.2.1.2 Grupo de procesos

Dentro de cada fase se manifiestan los grupos de procesos que propone la Guía del PMBOK, es decir:

- 1) Inicio
- 2) Planificación
- 3) Ejecución
- 4) Control y mantenimiento
- 5) Cierre.

En la siguiente figura 2.2, se da a conocer el error común que se tiene sobre el ciclo de vida de un proyecto, al pensar que son los diferentes grupos de procesos quien conforma las diferentes fases del proyecto.



Figura N° 2.2: Definición equivocada del ciclo de vida con grupos de procesos

(Fuente: Guía PMBOK 6ta edición)

En la siguiente figura 2.3, se muestra la relación entre las fases del ciclo de vida de un proyecto y los grupos de procesos aplicados a un ciclo de vida de fases secuenciales. Se aclara que, los grupos de procesos no son el ciclo de vida del proyecto, son conceptos totalmente diferentes, pero que están relacionados entre sí.

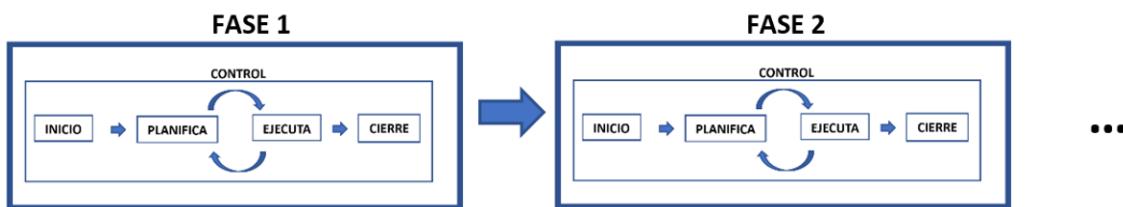


Figura N° 2.3: Relación fases del ciclo de vida de un proyecto y los grupos de procesos.

(Fuente: Guía PMBOK 6ta edición)

En la siguiente figura 2.4, se muestra la relación entre las fases del ciclo de vida de un proyecto y los grupos de procesos aplicados a un ciclo de vida de fases superpuestas. Se aclara que, los grupos de procesos no son el ciclo de vida del proyecto, son conceptos totalmente diferentes, pero que están relacionados entre sí.

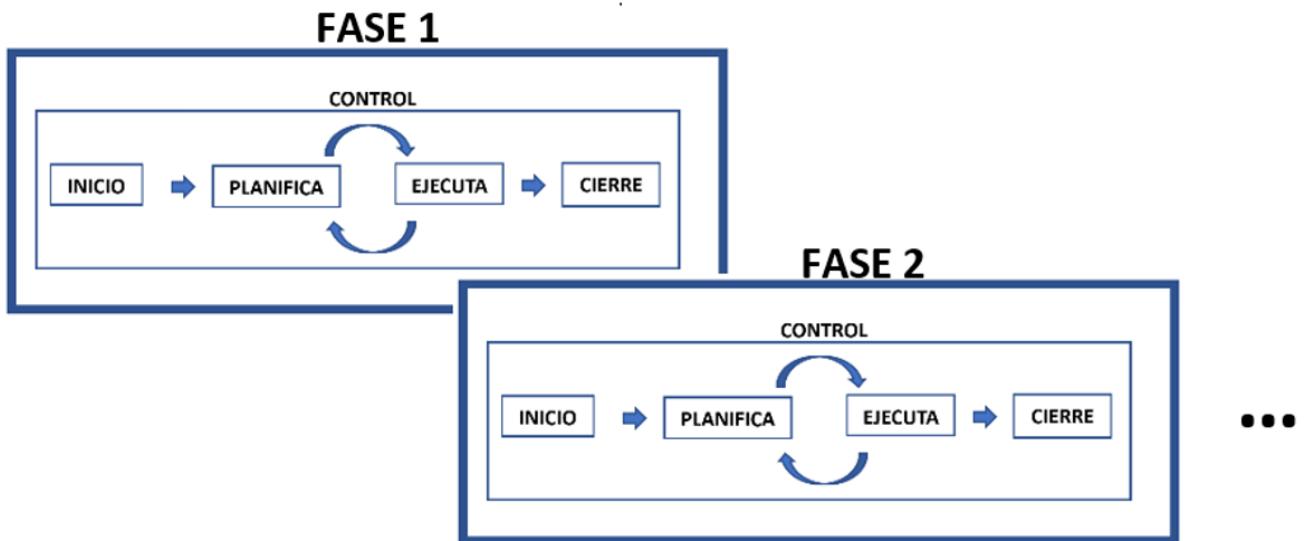


Figura N° 2.4: Fases y los grupos aplicados de manera superpuesta.

(Fuente: Guía PMBOK 6ta edición)

La Guía del PMBOK®, considera el grupo de procesos de control y monitoreo como un grupo de procesos de “fondo” ya que este se manifiesta y transcurre al mismo tiempo en el que se manifiesta los otros grupos de procesos de una fase determinada.

De acuerdo a las buenas prácticas de la guía del PMBOK, en el desarrollo de esta tesis de investigación se está considerando que dentro de la fase “Ejecución del Proyecto-Casco estructural” se manifiesta el grupo de procesos: Inicio-Planificación-Ejecución-Cierre, en el cual se evidencia al grupo de procesos de control como un grupo de procesos de fondo, es decir, se manifiesta desde el inicio hasta el cierre.

En la siguiente figura 2.5, se muestra el grupo de procesos de “Control” como grupo de procesos de “fondo”

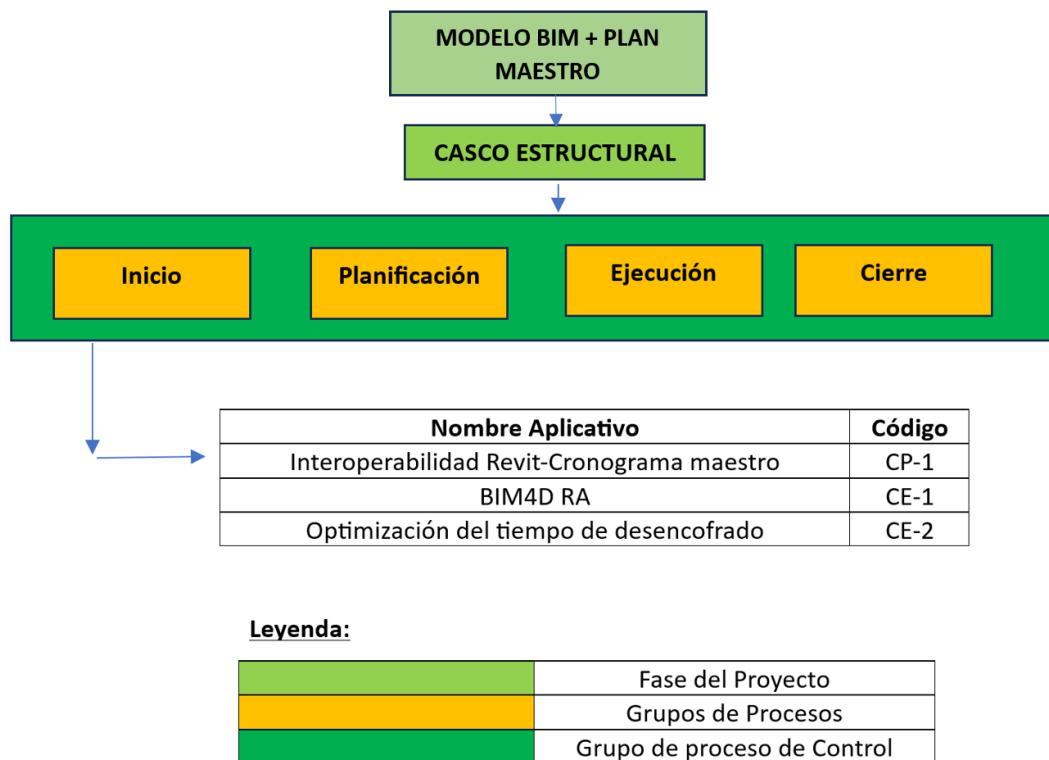


Figura N° 2.5: Grupo de procesos de “Control” como grupo de procesos de “fondo”

(Fuente: Elaboración propia)

## 2.2.2 Sectorización

En la siguiente Tabla 2.2, se muestra la definición de sectorizaciones respecto a las organizaciones líderes en implementación de las herramientas metodológicas de Lean Construction.

Tabla N° 2.2: Definiciones de sectorizaciones.

AUTOR	DEFINICIÓN
Lean The Way	<p>Sectorizar es un proceso con el que se desarrolla el tren de actividades. Este consiste en la división de una actividad en lo que se conoce como sectores. Para ello, se requiere un metrado previo o cuantificación de trabajo, con el que se subdivide el producto en base a las actividades repetitivas de mayor incidencia, para obtener porciones de similar cuantificación que conlleve a una carga de trabajo diaria y secuencial. (Anaya &amp; Michael, 2019).</p> <p>Fuente: <a href="https://me-qr.com/mu8GgLQm">https://me-qr.com/mu8GgLQm</a></p>

<b>Think PRODUCTIVITY</b>	<p>Es un sistema de planificación que busca la eficiencia, desarrollado por Glen Ballard y Greg Howell, en el marco de trabajo de la filosofía Lean Construction. Está basado en un sistema "Pull" que añade un componente de control de la producción al sistema de gestión tradicional de los proyectos y genera una planificación realista donde los planes de trabajo semanales pueden llevarse a cabo a través del compromiso de los últimos planificadores; capataces o encargados.</p> <p>Fuente: <a href="https://me-qr.com/Vu88Vvqc">https://me-qr.com/Vu88Vvqc</a></p>
-------------------------------	--

### 2.2.3 Automatización

En la siguiente Tabla 2.3, se muestra la definición de automatización.

Tabla N° 2.3: Definiciones de automatización.

AUTOR	DEFINICIÓN
IBM: International Business Machines Corporation.	<p>Automatización es un término que se utiliza para aplicaciones de tecnología en las que se minimiza la interacción humana. Incluye, por ejemplo, la automatización de procesos de negocio (BPA), la automatización de TI o las aplicaciones personales, como la automatización del hogar.</p> <p>Fuente: <a href="https://me-qr.com/IJwrgiXa">https://me-qr.com/IJwrgiXa</a></p>

### 2.2.4 BIM

La definición de BIM tiene varias definiciones, según se indica a continuación en la Tabla

2.4. Realmente no existe un verdadero consenso en la definición de BIM:

Tabla N° 2.4: Definiciones de BIM.

AUTOR	DEFINICIÓN
Wikipedia	<p>Proceso de generación y gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real.</p> <p>Fuente: <a href="https://me-qr.com/csQmR8xn">https://me-qr.com/csQmR8xn</a></p>
Autodesk	<p>es un proceso basado en el modelo 3D inteligente que dota a la arquitectura, ingeniería y profesionales de la construcción con el conocimiento y las herramientas para planificar de manera más eficiente, diseñar, construir y gestionar edificios e infraestructuras.</p> <p>Fuente: <a href="https://me-qr.com/4P4AUkg7">https://me-qr.com/4P4AUkg7</a></p>
National BIM Standard- United States	<p>Es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación.</p>

	Fuente: <a href="https://me-qr.com/lB5AYmNB">https://me-qr.com/lB5AYmNB</a>
Estándares BIM España	es una metodología de trabajo colaborativa para la gestión de proyectos de edificación y obra civil a través de una maqueta digital. Fuente: <a href="https://me-qr.com/vxnNDa6c">https://me-qr.com/vxnNDa6c</a>
ISO 19650:1-2018 (enfocado en tecnología)	Es el uso de una representación digital compartida de activo construido para facilitar procesos de diseño, construcción y operación con fin de formar una base confiable de decisiones. Fuente: <a href="https://me-qr.com/RnxC1csR">https://me-qr.com/RnxC1csR</a>
BuildingSMART España (enfoque holístico)	Es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes. Fuente: <a href="https://me-qr.com/fI7hCnR5">https://me-qr.com/fI7hCnR5</a>

BIM es gestionar la información de un proyecto de ingeniería haciendo uso de herramientas tecnológicas. A la definición del BIM se le puede agregar herramientas tecnológicas como, por ejemplo: programación en realidad virtual-aumentada, herramientas de programación como C#-Python-Dynamo, uso de sensores para la obtención de los datos y su posterior visualización en Autodesk Forge. La gestión de información se realiza sobre un modelo que es la representación gráfica-digital de un activo ingenieril.

Dado que el modelado BIM es el input para su respectiva gestión de información, este modelado debe tener un determinado objetivo, se toma como referencia el BIM plan Chile (2019) la cual propone hasta 25 objetivos diferentes que puede tener un modelo BIM para la implementación y uso correcto de modelos BIM, orientados a mejorar la eficiencia, la colaboración y la transparencia en proyectos de infraestructura pública. Algunos de los objetivos destacados incluyen:

1. **Estandarización:** Promover el uso de estándares nacionales e internacionales para garantizar la interoperabilidad entre plataformas y equipos, facilitando la comunicación y el intercambio de datos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

2. **Colaboración:** Fomentar una cultura colaborativa entre los actores del proyecto, utilizando BIM como herramienta central para coordinar disciplinas, evitar conflictos y optimizar el diseño y la construcción.
3. **Optimización de recursos públicos:** Incrementar la eficiencia en los proyectos financiados por el Estado mediante un mejor control de costos, tiempos y calidad, reduciendo riesgos y sobrecostos.
4. **Transparencia:** Mejorar la trazabilidad y el acceso a la información de los proyectos, promoviendo procesos más transparentes y basados en datos confiables.
5. **Gestión del ciclo de vida:** Facilitar la gestión y el mantenimiento de los activos construidos, integrando información relevante del modelo BIM en las fases de operación y mantenimiento.

En la siguiente Figura 2.6, se muestra que el Plan BIM Chile busca no solo modernizar la forma en que se diseñan y ejecutan los proyectos, sino también establecer un cambio cultural en la industria de la construcción, alineándola con las mejores prácticas internacionales.



Basada en Project Execution Planning Guide version 2.1, mayo 2011

Figura N° 2.6: Diferentes objetivos de un modelado BIM.

(Fuente: BIM Plan Chile 2019, página 52)

En la siguiente Figura 2.7, se ve como ejemplo, como una columna se puede modelar del primer hasta el último nivel como un solo objeto BIM, sin embargo, dicha columna también podría ser modelada por diferentes objetos BIM donde cada objeto BIM correspondería a los niveles en los cuales la columna se construirá. En el primer caso, el modelado serviría para un recorrido virtual, análisis lumínico-energético, análisis estructural, sin embargo, el segundo caso, sí serviría para un proceso constructivo en obra.

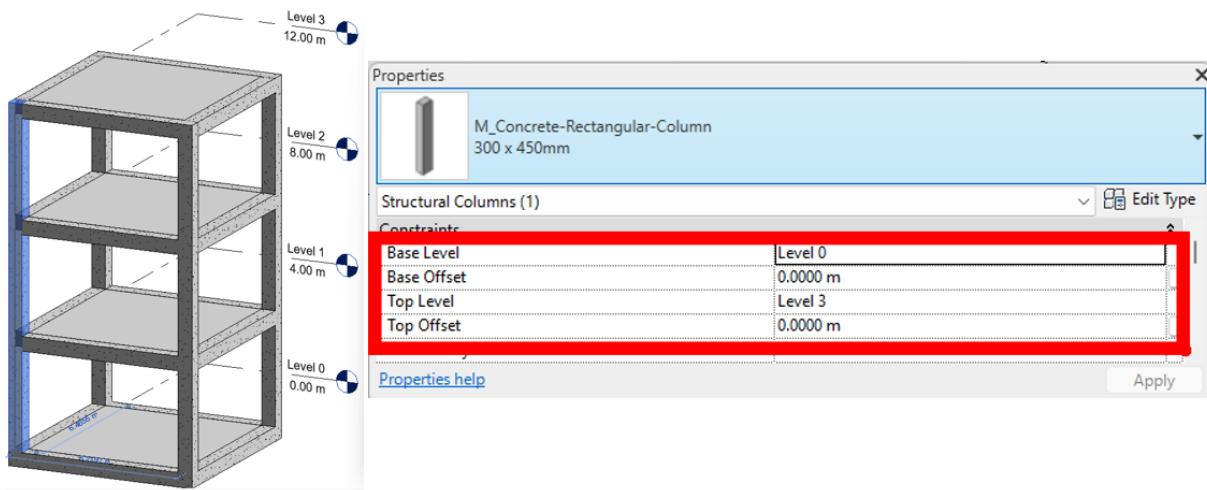


Figura N° 2.7: Columna modelada como un solo objeto desde el “Level 0” hasta “Level 3”.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 2.8 se ve lo contrario a la Figura 2.7, un modelado por niveles, como varios objetos para su uso en el proceso constructivo.

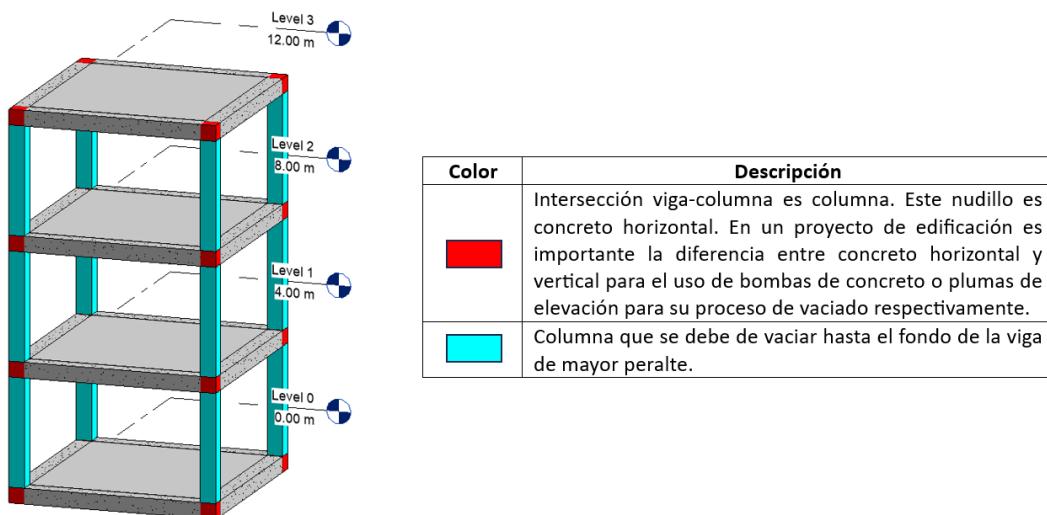


Figura N° 2.8: Columna modelada de acuerdo al proceso constructivo.

(Fuente: Elaboración propia)

El tiempo de modelado de los objetos BIM es relativo, ya que no solo se modela la parte geométrica sino también se obtiene y/o ingresa la información respectiva, esta información puede ser obtenida y/o ingresada de manera manual por el usuario y/o con herramientas de programación C#-Python-Dynamo, siendo la programación orientada a objeto C# la más recomendable para proyectos de gran complejidad y/o envergadura. Lo más importante de un modelado BIM es la información que se obtiene y/o introduce en el modelado.

Desde el punto de vista técnico, dibujar un muro en Revit sería cuestión de un par de “clicks” y en un par de segundos, pero desde el punto de vista “ingenieril-gestión de información” ese mismo muro podría demandar más tiempo de lo pensado, ya que se podría agregarle información, por ejemplo, en qué piso se encuentra, en qué nivel termina, propiedades acústicas, propiedades termoacústicas, tipo de concreto, muro estructural o muro con ladrillo pandereta, cuándo se va a construir, en qué sector se encuentra, qué tipo de concreto tiene, cuantificación de materiales, actualización de su respectiva información en obra, etc. Véase la siguiente Figura 2.9.

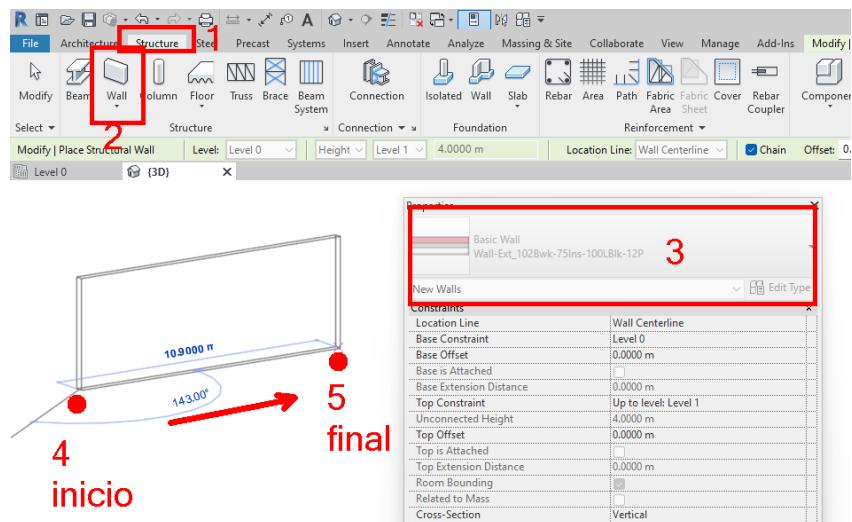


Figura N° 2.9: Procedimiento manual para dibujar un muro en 4 segundos.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 2.10, se muestra información no gráfica que debe de ser introducida al modelo geométrico BIM. Ingresar esta información haciendo uso de herramientas de programación permitirá ser más eficientes.

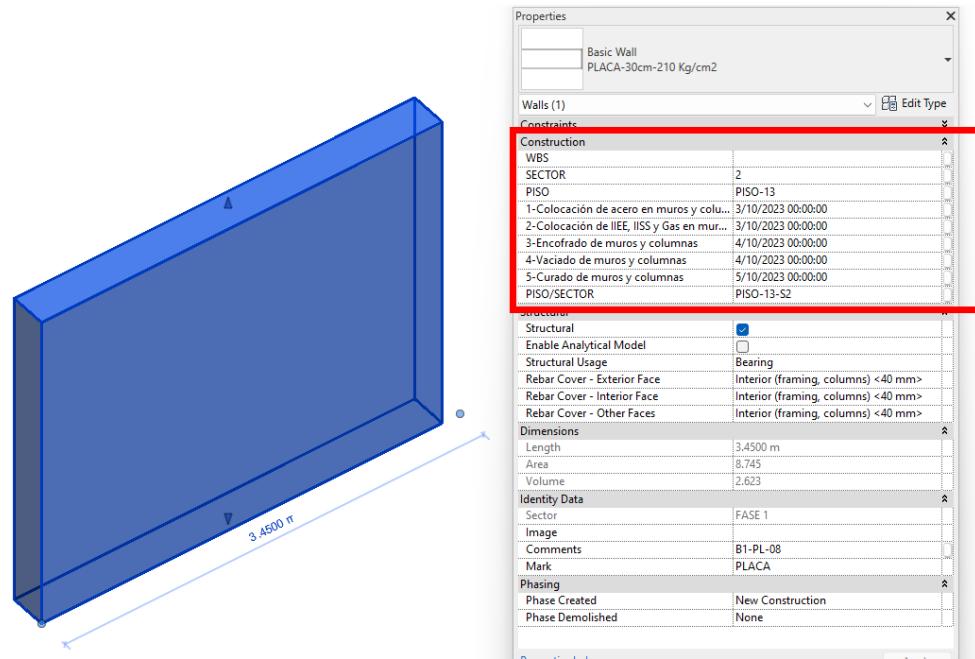


Figura N° 2.10: Información no gráfica que debe ser introducida al modelo BIM.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 2.11, se muestra un resumen, BIM representa la tecnología, la data, la información necesaria para poder diseñar, construir, operar. El concepto de BIM sigue en evolución y se resumen en lo siguiente: Visualización-Información-Automatización.

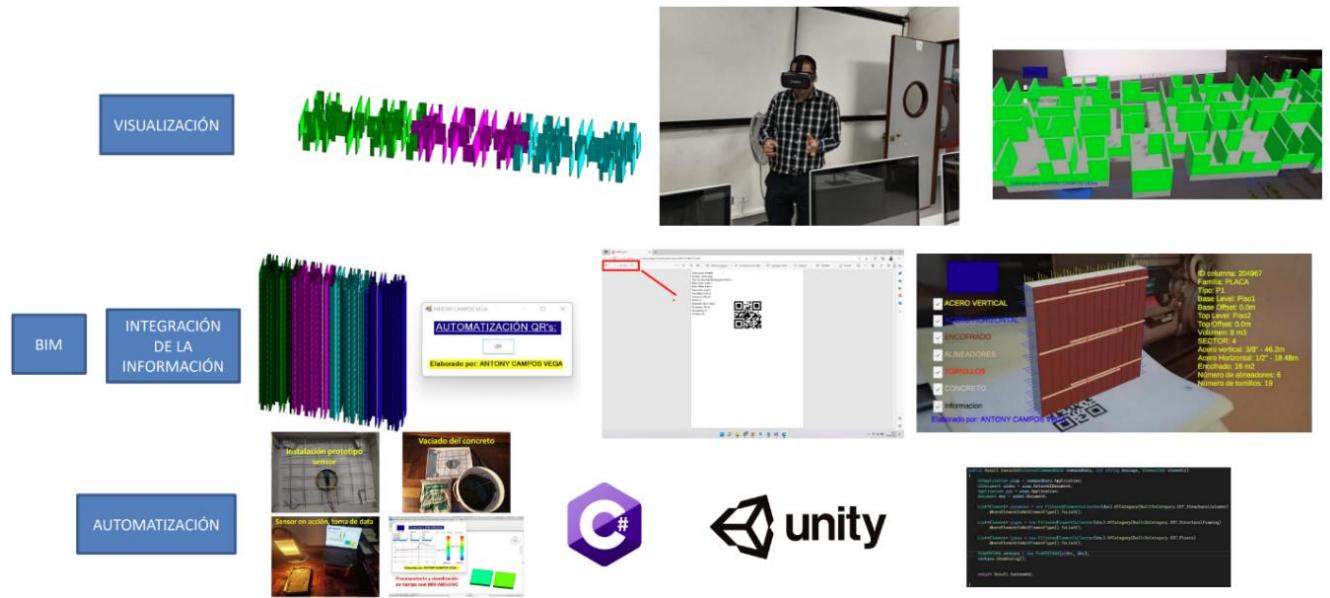


Figura N° 2.11: Pilares de BIM: Visualización-Información-Automatización

(Fuente: Elaboración propia)

Dado que la definición exacta de BIM es gestionar la información haciendo uso de herramientas tecnológicas, se muestra el resumen de las diferentes clases y conceptos básicos de Autodesk Revit con lenguaje de programación C#. El método más importante dentro del lenguaje de “Revit API” es “LookupParameter( string nombreParámetro)”, ya que la función de este método es obtener el valor de un parámetro de un elemento determinado dándole como input el nombre del parámetro a conseguir. Este método sigue dando relevancia a que lo más importante de “BIM” es la letra “I” de información que se le introduce al proyecto BIM y la forma en cómo se le gestiona.

En la siguiente Figura 2.12, se muestra una codificación en la API de Revit con lenguaje de programación C#. En programación C# los métodos y las propiedades se diferencian en que los método terminan en paréntesis en la cual van los inputs con su tipo de variable y las propiedades no.

```
public void metodoLookupParameter(Element elemento){  
    string nombreParametro= "SECTOR";  
    int sector= elemento.LookupParameter(nombreParametro).AsInteger();  
    //Tesis Antony Juan Campos Vega-FIC UNI  
}
```

Figura N° 2.12: Ejemplo del uso del método “LookupParameter(string nombreParámetro)”

(Fuente: Elaboración propia)

En las matemáticas, es imposible definir el punto, recta y el plano, ya que estos son axiomas y entes matemáticos por naturaleza. Lo mismo sucede en el mundo de la programación, es casi imposible tratar de definir por completo el concepto de “clase-objeto”, conceptos que han suscitado debate entre los grandes programadores de la historia. La forma más sencilla de definir una “clase”, es de considerarla como una plantilla cuya finalidad es dar como resultado un “objeto” y un objeto es el resultado, la instancia, la exemplificación de una “clase”. La programación orientada a objetos se sustenta en los conceptos de “clase-objeto” cuyos pilares son “encapsulamiento-abstracción-polimorfismo-herencia”.

Otro concepto importante dentro de la programación C# son los “Enumerations”. La forma más sencilla de definirla es como una lista “constante” donde no se le pueden agregar ni quitar elementos. Esto es con la finalidad, de que cuando una codificación llegue a manos del gestor de la información, por ejemplo, un programador en BIM avanzado, todos puedan hablar el mismo “lenguaje” y tener el mismo entendimiento. Recordar que la programación orientada a objetos C# es un “paradigma”, esto significa, que existen diferentes maneras de resolver un problema. C# trata de llevar los problemas de la vida diaria al mundo de las máquinas. En la vida real, existen “listas constantes”, por ejemplo, los días de la semana (7 días), los meses

del año (12 meses), esto con la finalidad de evitar cometer el error de que alguien trate de inventar un nuevo día, por ejemplo, “juviernes”. Lo mismo sucede en el mundo de la programación con los “Enumerations”. Dentro de Revit API, existen 641 Enumerations, dentro de las cuales se encuentran a los BuildingPadType, BuiltInCategory, BuiltInParameter, BuiltInParameterGroup, entre otros. Para mayor información de aquello, buscar y examinar la información centralizada, organiza en RevitAPI.dll, RevitAPIUI.dll.

En la siguiente Figura 2.13., se muestra un resumen obtenido con lenguaje de etiquetado HTML desde la página fuente “apidocs.co” con versión de Revit 2022.

Namespace	Clases	Delegates	Interfaces	Enumerations	Structures
Autodesk.Revit.ApplicationServices	2	0	0	2	0
Autodesk.Revit.Attributes	3	0	0	3	0
Autodesk.Revit.Creation	6	0	0	1	0
Autodesk.Revit.DB	1046	0	28	308	0
Autodesk.Revit.DB.Analysis	45	0	0	43	0
Autodesk.Revit.DB.Architecture	39	0	0	37	0
Autodesk.Revit.DB.DirectContext3D	28	0	1	3	0
Autodesk.Revit.DB.Electrical	66	0	0	23	0
Autodesk.Revit.DB.Events	54	0	0	5	0
Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage	7	0	0	2	0
Autodesk.Revit.DB.ExternalService	8	0	5	4	0
Autodesk.Revit.DB.Fabrication	7	0	0	11	0
Autodesk.Revit.DB.IFC	29	0	2	9	0
Autodesk.Revit.DB.Infrastructure	5	0	0	1	0
Autodesk.Revit.DB.Lighting	25	0	0	4	0
Autodesk.Revit.DB.Macros	10	0	1	6	0
Autodesk.Revit.DB.Mechanical	45	0	2	21	0
Autodesk.Revit.DB.Plumbing	21	0	3	5	0
Autodesk.Revit.DB.PointClouds	9	0	3	1	1
Autodesk.Revit.DB.Steel	1	0	0	0	0
Autodesk.Revit.DB.Structure	115	0	5	75	0
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralSections	52	0	0	3	0
Autodesk.Revit.DB.Visual	54	0	0	49	0
Autodesk.Revit.Exceptions	53	0	0	0	0
Autodesk.Revit.UI	61	1	0	20	0
Autodesk.Revit.UI.Events	25	0	0	1	0
Autodesk.Revit.UI.Macros	3	0	0	1	0
Autodesk.Revit.UI.Mechanical	2	0	1	0	0
Autodesk.Revit.UI.Plumbing	2	0	1	0	0
Autodesk.Revit.UI.Selection	3	0	1	3	0
	1826	1	53	641	1

Namespace	Clases	Interfaces	Enumerations
Autodesk.Revit.ApplicationServices	2	0	2
Autodesk.Revit.Attributes	3	0	3
Autodesk.Revit.Creation	6	0	1
Autodesk.Revit.DB	1666	50	610
Autodesk.Revit.Exceptions	53	0	0
Autodesk.Revit.UI	96	3	25
	1826	53	641

Figura N° 2.13: Resumen desde la página fuente “apidocs.co”.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 2.14, se muestra un resumen de las bases de la programación para poder hacer una buena gestión de la información dentro del software BIM Revit. Uno de los método más importantes dentro de la API de Revit es el método “LookupParameter()”.

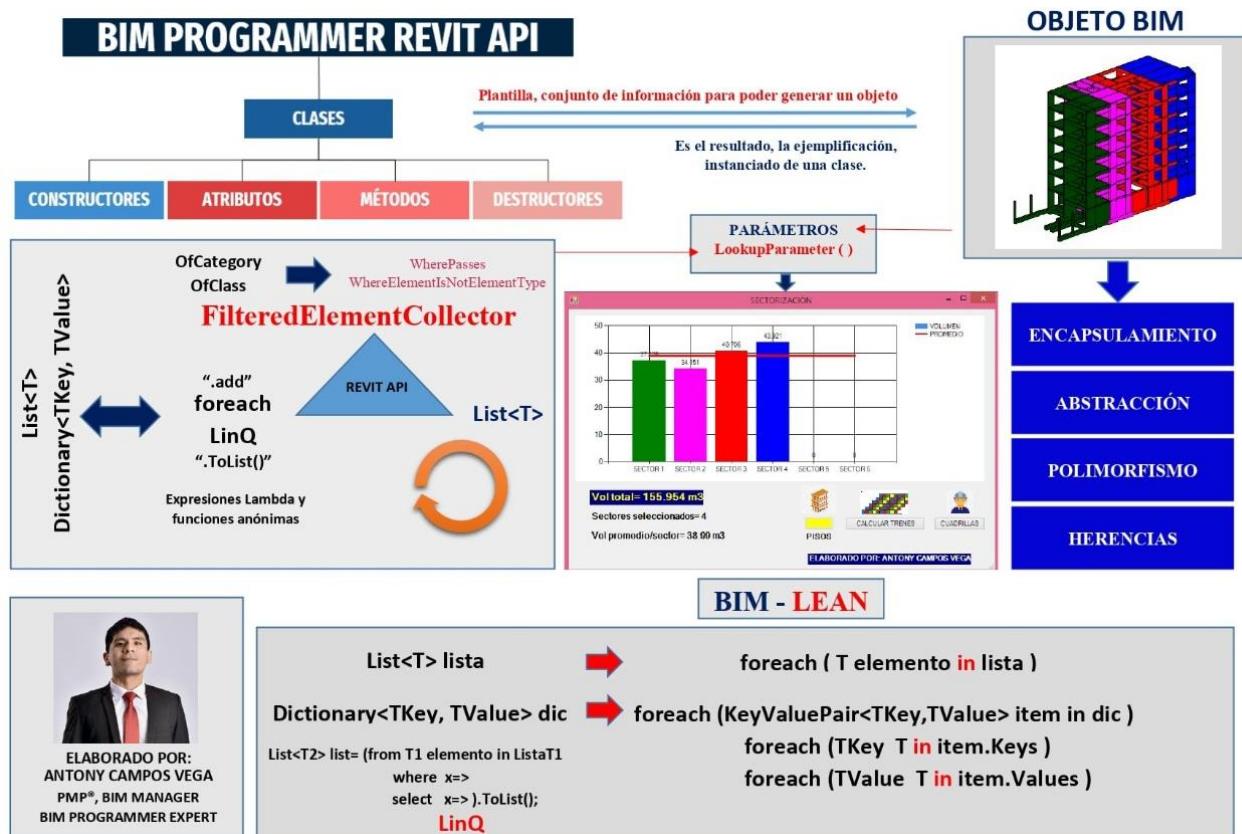


Figura N° 2.14: Resumen de los conceptos de C# y de la programación Revit API.

(Fuente: Elaboración propia)

FilteredElementCollector (FEC) es una clase con gran alcance, que permite hacer un filtrado, búsqueda e iteración a través de un conjunto de objetos BIM por codificación. Entiéndase por “selección natural” al proceso manual por intervención del usuario de Revit a seleccionar objetos de izquierda-derecha y viceversa. Esta “Selección natural” solo permite seleccionar objetos mas no tipos, categorías, BuiltInCategory, BuiltInParameter, ID's, parámetros, etc. “FilteredElementCollector” pertenece al assembly “RevitAPI.dll” dentro del namespace

“Autodesk.Revit.DB”. Es decir, en Revit se puede seleccionar “objetos” que son resultados de clases ya sea de manera manual (por intervención del usuario) y por codificación, por ejemplo usando la clase “FilteredElementCollector”. Véase la Figura 2.15.

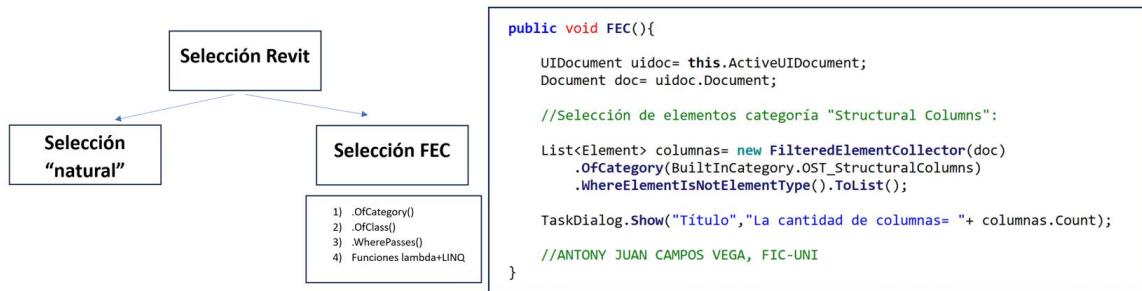


Figura N° 2.15: Selección por intervención del usuario y por codificación.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 2.16, se da como ejemplo el uso de la clase FilteredElementCollector con el uso del lenguaje Python.

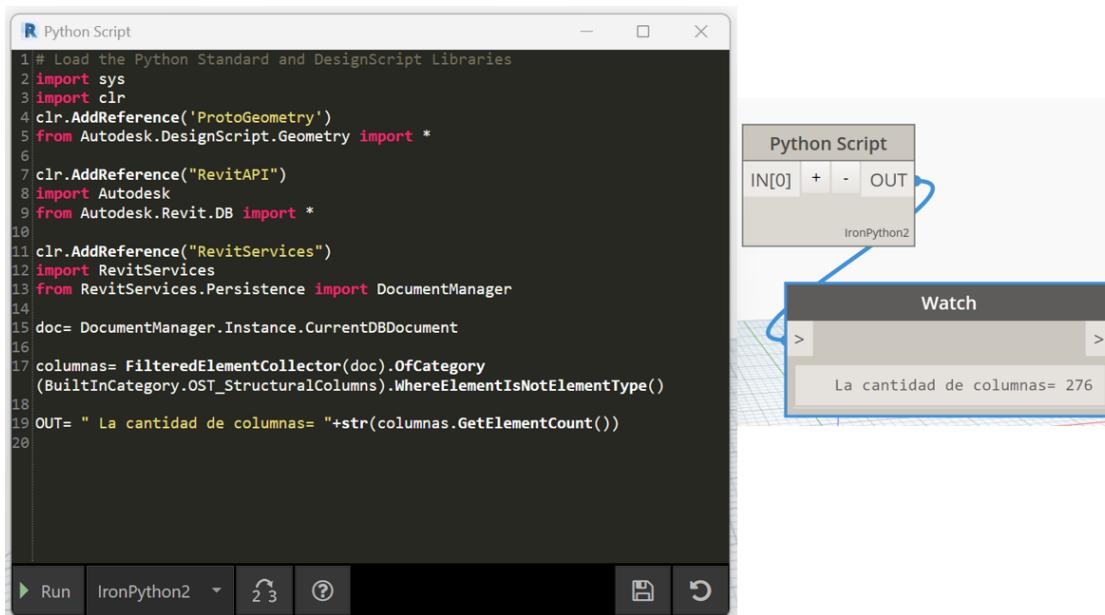


Figura N° 2.16: Codificación en Dynamo-Python y uso la clase “FilteredElementCollector”.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 2.17, en el lado izquierdo se muestra lo que se selecciona en un modelo BIM en Revit y en el lado derecho la información generada con la codificación descrita anteriormente.



Figura N° 2.17: Resultado de la codificación tanto en C# como en Dynamo-Python.

(Fuente: Elaboración propia)

#### 2.2.5.- Concreto masivo

El comportamiento térmico del concreto se debe a que se generan procesos químicos-exotérmicos en el concreto. Temperaturas elevadas del concreto ( $>=50^{\circ}\text{C}$ ) manifiesta grandes cambios volumétricos en sus dimensiones, trayendo como consecuencias fisuraciones. Un criterio para considerar concretos masivos, es el riesgo a que se manifiesten grandes fisuraciones, por tal motivo, la presente tesis busca desarrollar una programación tanto en hardware como en software, que permita tener el control y la temperatura en tiempo real del concreto en obra. Esto se hará haciendo uso de sensores Arduino “DTH11” y “DS18B20”, con programación C y C# dentro de la Revit API a través de un mapa de colores lo que permite hacer una gestión visual en nuestro modelo BIM.

El uso de sensores de temperatura en concretos masivos es esencial para garantizar la calidad, la seguridad y la durabilidad de la estructura. A continuación, explico las razones clave

para implementar esta tecnología a nivel de control de calor de hidratación, monitoreo en tiempo real, prevención de fisuramiento térmico, registro, datos y trazabilidad.

En la siguiente Tabla 2.5, se dan las definiciones del concreto masivo.

Tabla N° 2.5: Definiciones de concreto masivo.

AUTOR	DEFINICIÓN
360 en CONCRETO	Cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes para requerir que se tomen medidas particulares a fin de manejar la generación de calor de hidratación del cemento y los consecuentes cambios volumétricos y, así, minimizar el agrietamiento. Para reducir el aumento de temperatura y lograr ahorros, se utilizan bajos contenidos de cemento y agregados grandes a fin de mantener un asentamiento bajo. Fuente: <a href="https://me-qr.com/YkCvdrdY">https://me-qr.com/YkCvdrdY</a>
ACI 116 "Terminología del cemento y del hormigón"	Cualquier elemento de grandes dimensiones que genere que se tomen medidas preventivas para contrarrestar la generación de calor interior debido a la hidratación de cemento causando cambios volumétricos y con esto, fisuras o grietas. Fuente: <a href="https://me-qr.com/4SkRrVvV">https://me-qr.com/4SkRrVvV</a>
ACI 207.1-05 "Guide to Mass Concrete"	La característica que distingue al concreto masivo del resto de concretos convencionales es su comportamiento térmico. Fuente: <a href="https://me-qr.com/4SkRrVvV">https://me-qr.com/4SkRrVvV</a>
ACI 211.1R-91 "Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight and mass concrete"	Muchos elementos estructurales de grandes dimensiones pueden ser lo suficientemente masivos como para que se tome en cuenta la generación de calor, particularmente cuando las dimensiones mínimas de la sección transversal de un elemento estructural se aproximan o exceden de 2 a 3 pies (0,61 a 0,91m) o cuando se utilizan contenidos de cemento por encima de 600 lb/yd <sup>3</sup> (356 kg/m <sup>3</sup> ). Se debe dar consideraciones similares a otras colocaciones de concreto que cumplan con estas definiciones pero que contienen cemento de alto calor de hidratación. Fuente: <a href="https://me-qr.com/4SkRrVvV">https://me-qr.com/4SkRrVvV</a>
ACI 301-16 "Specifications for Structural Concrete"	Volumen de concreto estructural en el que la combinación de las dimensiones del elemento a vaciar, las condiciones de contorno, las características del concreto y las condiciones ambientales pueden provocar esfuerzo térmicos indeseables, agrietamiento, reacciones químicas nocivas o reducción de resistencia a largo plazo como resultado de la elevada temperatura del concreto debido al calor de hidratación. Fuente: <a href="https://me-qr.com/4SkRrVvV">https://me-qr.com/4SkRrVvV</a>

En la siguiente Figura 2.18, se muestra el desarrollo de los prototipos de temperatura tanto con los sensores DTH11 y DS18B20.

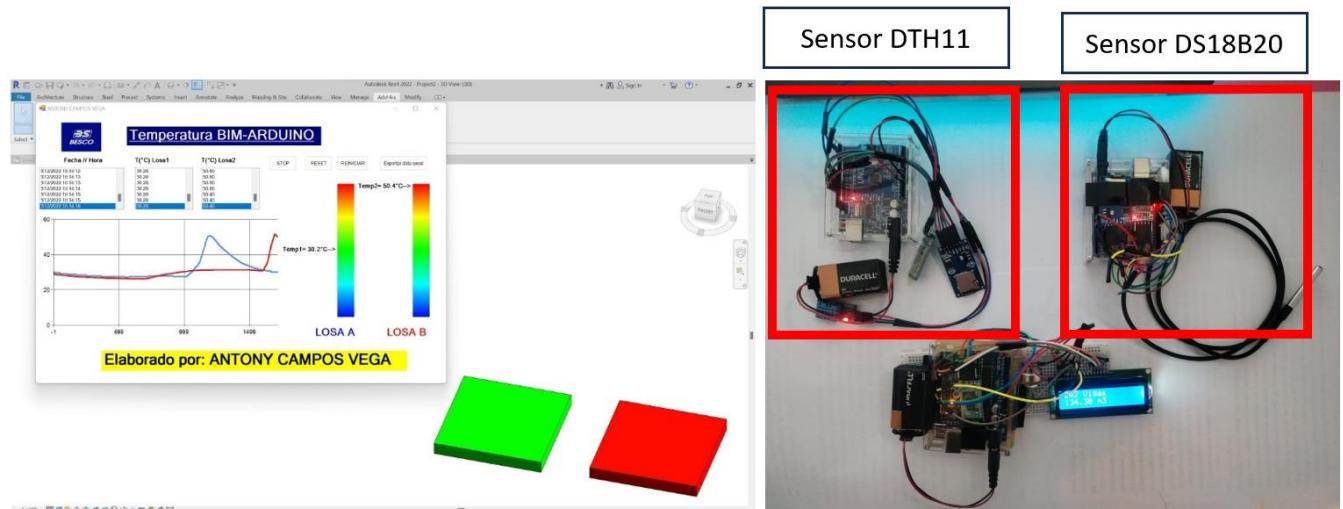


Figura N° 2.18: Sensores “DTH11” y “DS18B20”.

(Fuente: Elaboración propia)

## 2.2.6.- Arduino

En la siguiente Tabla 2.6, se dan las definiciones de Arduino.

Tabla N° 2.6: Definiciones de Arduino.

DEFINICIÓN
Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. Fuente: Xakata, 2021.
Arduino es una compañía de desarrollo de software y hardware libres, así como una comunidad internacional que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware para construir dispositivos digitales y dispositivos interactivos que puedan detectar y controlar objetos del mundo real. Fuente: Wikipedia
Es una plataforma de hardware libre basada en una placa a partir de la cual se pueden crear objetos electrónicos interactivos, como robots o sistemas domóticos. Fuente:CodeLearn, 2020.

En la siguiente Figura 2.19, se muestra una placa de Arduino UNO típica estándar con 32 entradas “hembras”, 6 entradas “machos”, 1 entrada USB para cargar el código y/o alimentarla, y una entrada para ser alimentada mediante batería externa.



Figura N° 2.19: Diferentes placas típicas de Arduino

### Capítulo III. Implementación en aspectos estructurales

La implementación de automatizaciones entre ETABS y Revit para aspectos estructurales ofrece numerosos beneficios que impactan positivamente en la eficiencia, la precisión y la colaboración en proyectos de construcción eliminando trabajo repetitivo, mejora la precisión, optimiza el flujo de trabajo, actualización de datos, fomento de la colaboración. En el desarrollo de esta investigación, se propone la automatización “Interoperabilidad Revit-ETABS”, con código “ED-1”.

#### 3.1 Implementación en aspectos estructurales.

En la siguiente Tabla 3.1, se muestra el resumen de la automatización desarrollada en esta tesis en aspecto estructural. Entiéndase que, “ED: Estructural-Diseño”.

Tabla N° 3.1: Aspectos estructurales.

ASPECTO	FASE	Cantidad de aplicativos	Nombres de los aplicativos	CÓDIGO
ESTRUCTURAL	Diseño	1	-Interoperabilidad Revit-ETABS	ED-1
		Total aplicativos= 1		

En la siguiente Tabla 3.2, se muestra el nombre de la automatización desarrollada “ED-1” con un link para la visualización del aplicativo.

Tabla N° 3.2: Aplicativo ED-1.

Nombres de los aplicativos	Código	LINK
-Interoperabilidad Revit-ETABS	ED-1	<a href="https://acortar.link/3TcTiR">https://acortar.link/3TcTiR</a>

### 3.1.1 Interoperabilidad ETABS-Revit-ED1:

Nombre del aplicativo: Aplicativo Interoperabilidad Revit-ETABS”

Problema a resolver:

Existe poco desarrollo de interoperabilidad entre los softwares de Revit, ETABS, SAP 200, ya que estos tienen su propia estructura de datos determinada que no es compatible con las opciones normales que traen dentro de su interfaz de usuario. Normalmente se realiza el análisis estructural-sísmico en ETABS para que luego, un cadista de forma manual comience a dibujar en 2D planos de estructuras y acero en el software AutoCAD. Posteriormente se llevan los planos 2D al software Revit para proceder su modelado desde el inicio de manera manual, esto sin contar con la gran información estructural-sísmica que deba de centralizarse en el modelo BIM. Lo que también suele hacerse es enviar el modelo desde ETABS hacia Revit mediante el uso de un plugin en ETABS exportándolo en formatos “IFC”, pero estos formatos en muchos casos limitan la información tanto gráfica como no gráfica, ya que al importarlo en Revit el modelo deja de tener su estructura original propia de Revit por categorías para gestionar la información.

Descripción:

¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone usar herramientas de programación a través de la Revit API, mediante una interoperabilidad de ETABS-Revit concreto poder actualizar la información (mencionada anteriormente) en el modelo BIM, para luego a través de otro aplicativo realizado “App Traffic Ligths” realizar una correcta gestión visual y los ingenieros civiles puedan tomar mejores decisiones.

Alcances:

Esta automatización es de gran alcance para proyectos de edificación, donde ayuda ahorrar bastante tiempo en el modelado manual de ETABS hacia Autocad y posteriormente modelar desde el inicio en Revit.

Inputs requeridos:

- 1) Modelado en ETABS-SAP2000 terminado.

Limitaciones:

- 1) No Modela escaleras, ni losas inclinadas.

En la Tabla 3.3 se muestra el proceso de ejecución del aplicativo.

Tabla N° 3.3: Procesos de ejecución aplicativo ED-1

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.1: Tener abierto el modelo en Revit y en ETABS.
Paso 2	Figura 3.3: Ejecución del aplicativo “ED-1”
Paso 3	Figura 3.4: El aplicativo transfiere información de todos los tipos de columnas.
Paso 4	Figura 3.5: El aplicativo transfiere información de todos los tipos de vigas.
Paso 5	Figura 3.7: Vista en planta del proyecto.

Observación: No se programó el modelado de losas hacia Revit.

Ejecución paso a paso del aplicativo: Aplicativo Interoperabilidad Revit-ETABS”

Se recomienda tener abierto el modelo en ETABS, aunque con la programación se podría ejecutar el software desde el inicio, pero esto quita tiempo ya que el software se toma su tiempo para completar el update de los datos de su interfaz al momento de iniciarse.

En la siguiente Figura 3.1, se muestra abierto un proyecto en Revit (izquierda) y un proyecto abierto en ETABS (derecho).

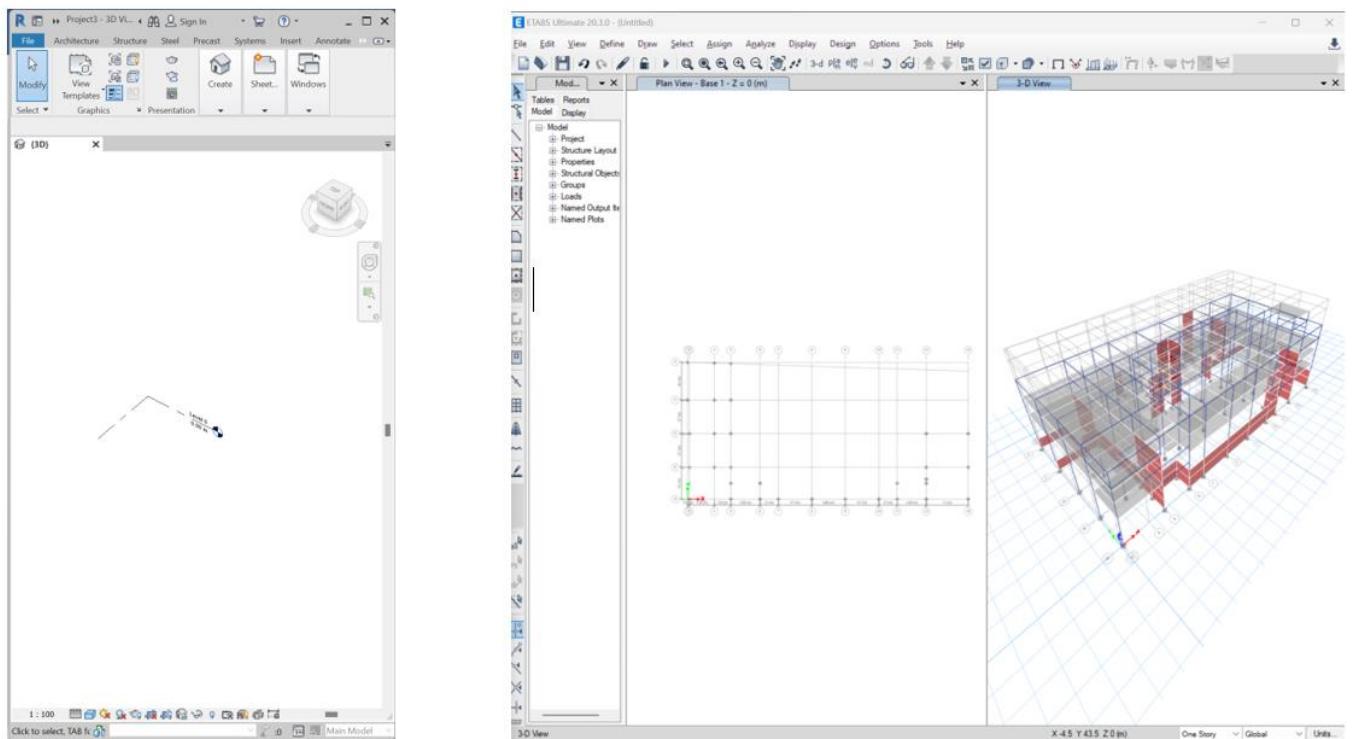


Figura N° 3.1: Proyecto Revit estructuras-ETABS

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 2, se muestra al lenguaje de programación orientada a objetos C#, como el puente que, a través de interoperabilidad, permite la gestión e intercambio de información entre softwares de diseño-construcción.

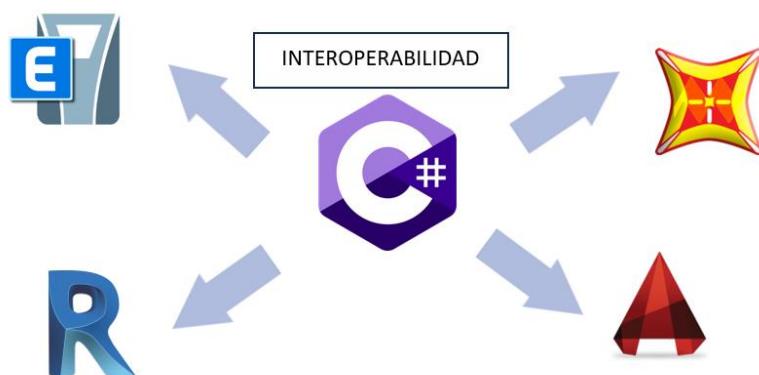


Figura N° 3.2: Programación C# como el “HUB”.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 3.3, se muestra el resultado de la ejecución del aplicativo “Interoperabilidad Revit-ETABS”, con código: “ED-1”

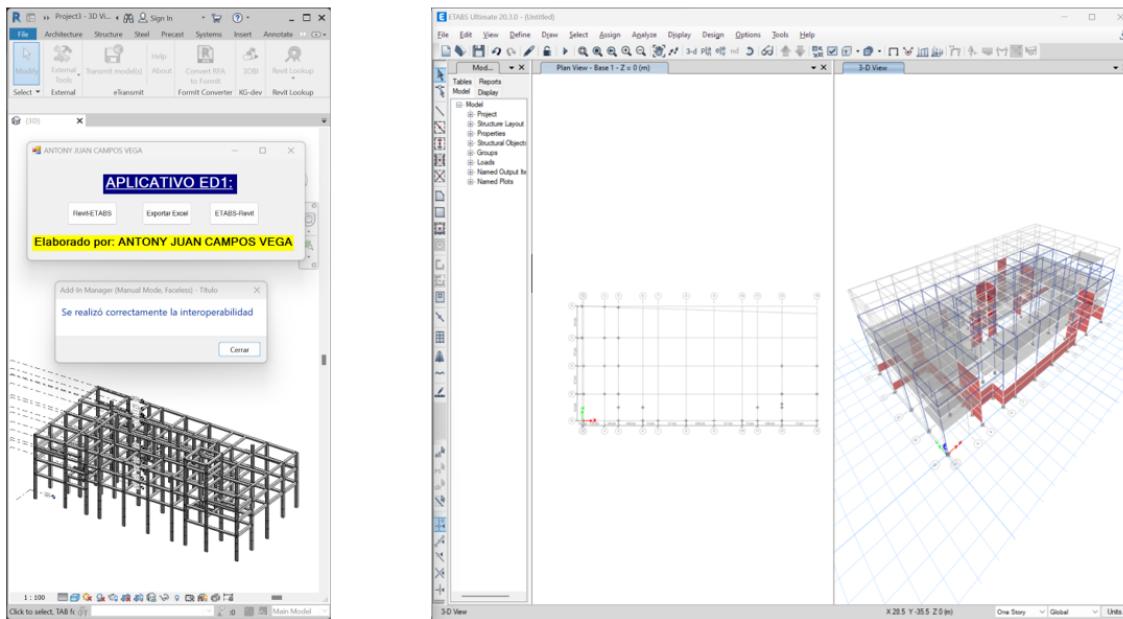


Figura N° 3.3: Ejecución del aplicativo “ED-1”

(Fuente: Elaboración propia)

El alcance de este aplicativo es que logra transferir información de todos los tipos de columnas secciones “Frame Sections” desde ETABS hacia Revit. Esta automatización es importante ya que es algo que no se consigue normalmente con una exportación tradicional de IFC, ya que esta forma de IFC no logra transferir toda la información completa, dibujando los elementos estructurales con la categoría “Specialty Equipment” y no como categorías nativas de Revit (Structural Columns, Structural Framing, Floors, Walls, etc).

En la siguiente Figura 3.4, se muestran las secciones de columnas de Revit (izquierdo) automatizadas desde ETABS (derecho).

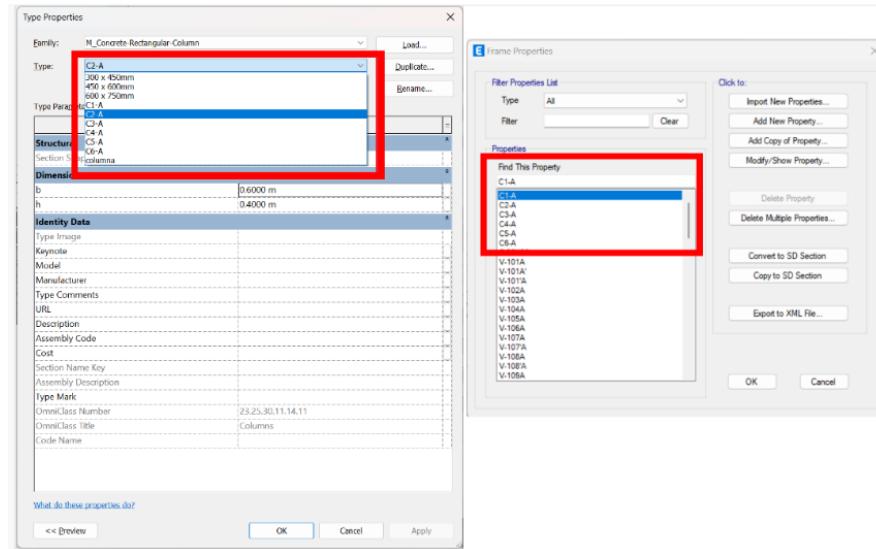


Figura N° 3.4: Secciones de columnas de Revit y ETABS.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 3.5, se muestran las secciones de vigas de Revit (izquierda) automatizadas desde ETABS (derecho)

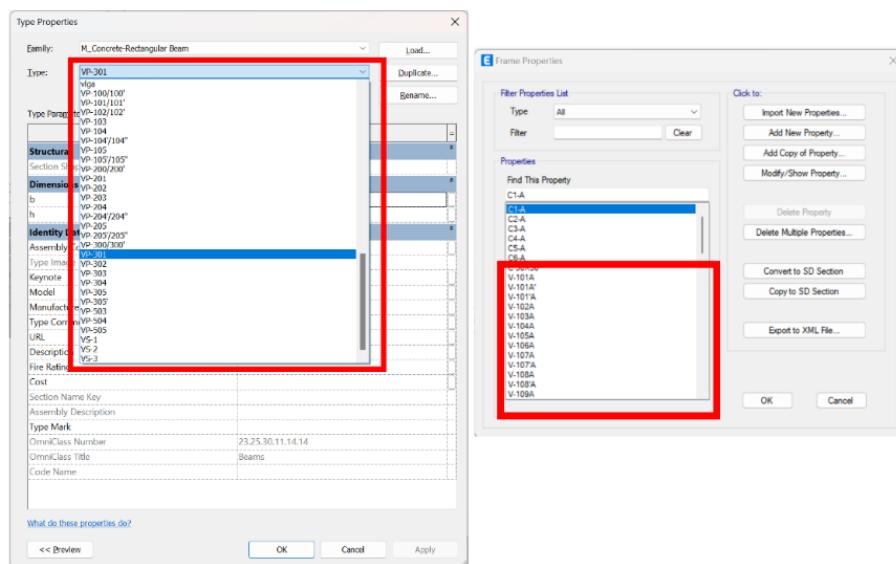


Figura N° 3.5: Secciones de vigas de Revit y ETABS automatizadas.

(Fuente: Elaboración propia)

La aplicación considera no solamente automatización a nivel de geometría de elementos estructurales, sino también a nivel de referencias y localizaciones. El aplicativo logra transferir todos los niveles y grillas del proyecto desde ETABS hacia Revit. Este permite conservar de manera única las localizaciones de los elementos estructurales de manera única tanto desde Revit como desde ETABS. Las automatizaciones desarrolladas en esta tesis, permiten la edición de información tanto gráfica como no gráfica, cosa que es una desventaja al optar por plugins que exportan los modelos en formatos IFC haciendo que se pierda mucha información. El uso de estas automatizaciones facilita la gestión de información de un software a otro, información de categoría estructural como de gestión para procesos constructivos y/o metrados. A continuación, se muestra una vista en planta del proyecto tanto en Revit como en ETABS.

En la siguiente Figura 3.6, en la parte superior se ve una vista en planta del proyecto en ETABS y en la imagen inferior se ve una vista en planta del proyecto automatizado en Revit desde ETABS.

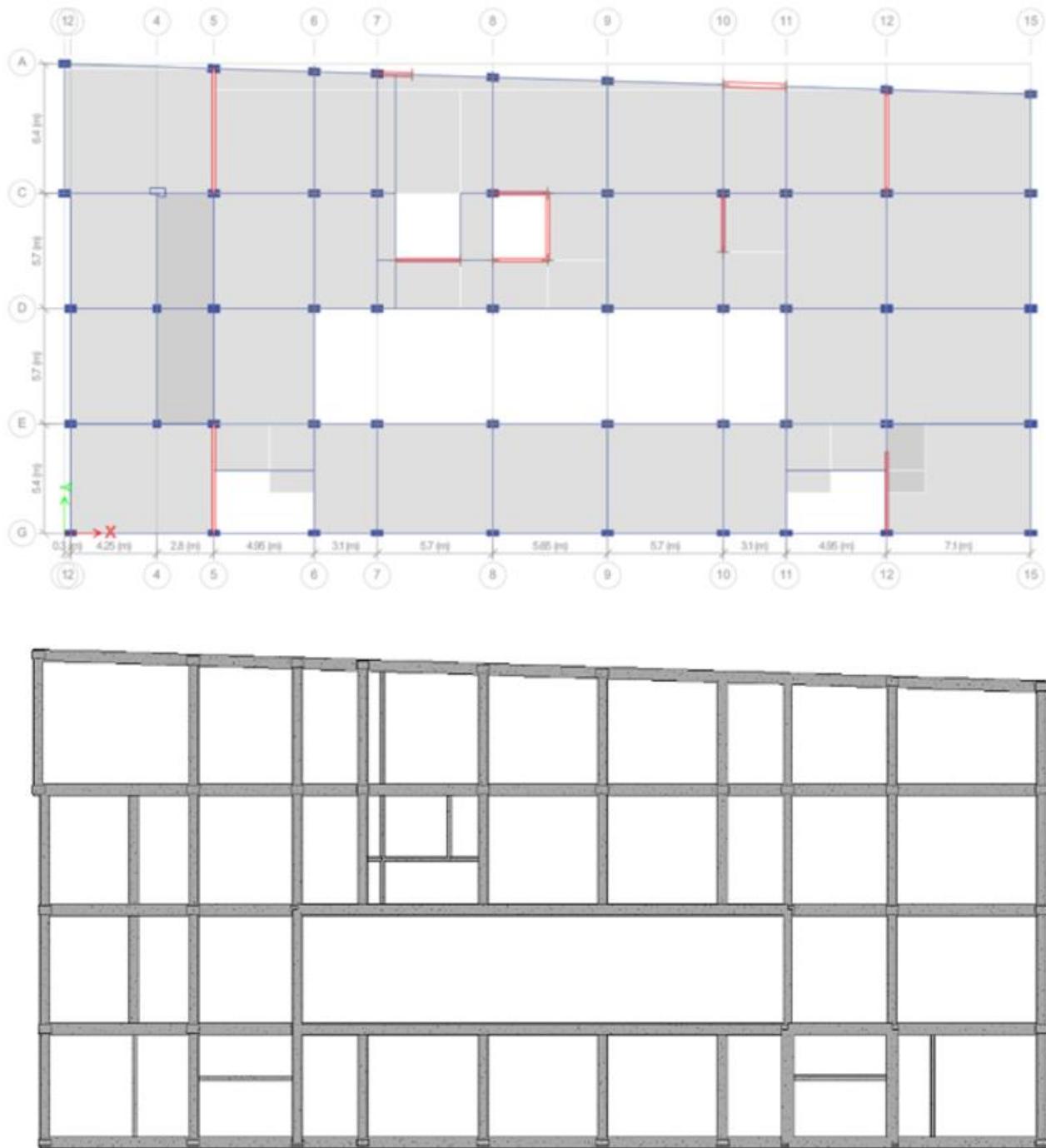


Figura N° 3.6: Vista en planta del proyecto.

(Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo IV. Implementación en aspectos constructivos

### 4.1 Implementaciones en aspectos constructivos

En la siguiente Tabla 4.1, se muestra el resumen de las automatizaciones desarrolladas en aspectos constructivos, con sus nombres y respectivos códigos. Nótese la siguiente abreviación, CI: Constructivo-Ingeniería, CP: Constructivo-Planificación, CE: Constructivo-Ejecución, CC: Constructivo-Control.

Tabla N° 4.1: Aspectos constructivos

ASPECTO	FASE	Cantidad de aplicativos	Nombres de los aplicativos	CÓDIGO
CONSTRUCTIVO	Modelado de Ingeniería	10	-Modelado automatizado de zapatas	CI-1
			- Modelado automatizado de columnas	CI-2
			- Modelado automatizado de vigas	CI-3
			- Modelado automatizado de losas	CI-4
			-Sectorización.	CI-5
			- Automatización encofrados zapatas	CI-6
			- Automatización encofrados columnas	CI-7
			- Automatización encofrados vigas	CI-8
			- Automatización encofrados losas	CI-9
			-BIM4D proceso constructivo.	CI-10
Ejecución del proyecto- Casco estructural- Control		1	-Interoperabilidad Revit- cronograma maestro.	CP-1
		1	-BIM RA-RV.	CE-1
		1	-Optimización del tiempo de desencofrado.	CE-2
		<b>Total aplicativos= 13</b>		

En la siguiente Tabla 4.2, se muestran la visualización de las automatizaciones a través de un link mostrando la ejecución respectiva.

Tabla N° 4.2: Visualización de automatizaciones

Nombres de los aplicativos	Código	LINK
-Modelado automatizado de zapatas	CI-1	<a href="https://acortar.link/as55sz">https://acortar.link/as55sz</a>
- Modelado automatizado de columnas	CI-2	<a href="https://acortar.link/frBO8y">https://acortar.link/frBO8y</a>
- Modelado automatizado de vigas	CI-3	
- Modelado automatizado de losas	CI-4	
-Sectorización.	CI-5	
		<a href="https://acortar.link/fkXZkT">https://acortar.link/fkXZkT</a> <a href="https://acortar.link/JNQVnE">https://acortar.link/JNQVnE</a> <a href="https://acortar.link/pMmU8D">https://acortar.link/pMmU8D</a> <a href="https://acortar.link/JI5aWe">https://acortar.link/JI5aWe</a>
- Automatización encofrados zapatas	CI-6	<a href="https://acortar.link/HPMXP5">https://acortar.link/HPMXP5</a>
- Automatización encofrados columnas	CI-7	
- Automatización encofrados vigas	CI-8	
- Automatización encofrados losas	CI-9	<a href="https://acortar.link/doPLq3">https://acortar.link/doPLq3</a>
-BIM4D proceso constructivo.	CI-10	<a href="https://acortar.link/7weV1K">https://acortar.link/7weV1K</a> <a href="https://acortar.link/dWlaIZ">https://acortar.link/dWlaIZ</a> <a href="https://acortar.link/qQShNK">https://acortar.link/qQShNK</a> <a href="https://acortar.link/u0dOek">https://acortar.link/u0dOek</a>
-Interoperabilidad Revit-cronograma maestro.	CP-1	<a href="https://acortar.link/7sVbkl">https://acortar.link/7sVbkl</a>
-BIM RA-RV.	CE-1	<a href="https://acortar.link/WsAp11">https://acortar.link/WsAp11</a> <a href="https://acortar.link/jh55E6">https://acortar.link/jh55E6</a> <a href="https://acortar.link/E5NFWy">https://acortar.link/E5NFWy</a>
-Optimización del tiempo de desencofrado.	CC-2	<a href="https://acortar.link/mNkBxF">https://acortar.link/mNkBxF</a> <a href="https://acortar.link/hPmfnl">https://acortar.link/hPmfnl</a> <a href="https://acortar.link/TO5ux2">https://acortar.link/TO5ux2</a> <a href="https://acortar.link/vBJKxM">https://acortar.link/vBJKxM</a> <a href="https://acortar.link/v8LyjF">https://acortar.link/v8LyjF</a> <a href="https://acortar.link/JwPk48">https://acortar.link/JwPk48</a> <a href="https://acortar.link/5CZrDJ">https://acortar.link/5CZrDJ</a> <a href="https://acortar.link/ANn2d5">https://acortar.link/ANn2d5</a>
-Optimización ubicación grúa de elevación	CE-3	<a href="https://acortar.link/QSrAzs">https://acortar.link/QSrAzs</a>

-Automatizar modelo BIM estructuras columnas	CI-2	<a href="https://acortar.link/Q5L8SD">https://acortar.link/Q5L8SD</a>
- Automatización encofrados columnas	CI-7	

#### -Automatizar modelo BIM estructuras concreto:

El modelo BIM se debe de modelar de acuerdo a cómo se va a construir, respetando los procesos constructivos. Una de las grandes tareas repetitivas que existen al momento de modelar una edificación, es el modelado del casco estructural, por ejemplo, las zapatas, vigas, losas, muros, placas, columnas.

Por ejemplo ¿Cuál es el proceso tradicional al momento de modelar una edificación?

Una edificación puede tener varios sótanos y pisos atípicos, los pisos típicos se copian y pegan hacia sus niveles superiores respectivos. Estos planos atípicos en CAD se importan a Revit, para luego crear las diferentes familias de columnas rectangulares, en forma de “L”, “U”, “T”, etc. Luego se comienzan a generar sus tipos correspondientes, por ejemplo, columna 0.30mx0.3m, 0.45m0.80x, y en el caso que no fuera rectangular se tendría que considerar otras dimensiones, leerlas previamente en CAD para luego ir dibujando una por una en el modelo en Revit. Tarea repetitiva, que debería de automatizar, al menos, en elementos estructurales verticales.

¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone usar herramientas de programación a través de la Revit API, de tal manera que pueda identificar las diferentes “PolyLine” por las que está formada la columna 2D en CAD, para que automáticamente las modele en Revit analizando los diferentes puntos que conforman dicha “PolyLine”.

#### 4.1.1 Aplicativo CI1: “Modelado automatizado de zapatas”

Nombre del aplicativo: Aplicativo CI1 - “Modelado automatizado de zapatas”

Problema a resolver:

En muchos proyectos de ingeniería, existen tareas repetitivas que ralentizan el proceso de gestionamiento de información BIM. Lo que se viene haciendo usualmente es modelar elemento por elemento estructural de manera manual.

Descripción:

Lo que busca este aplicativo es enfatizar la “automatización” que forma parte del core de BIM (visualización-información-automatización) para poder modelar instantáneamente las zapatas con forma rectangular-cuadrada con el aplicativo a desarrollar.

Alcances:

Esta automatización es de gran alcance para proyectos, donde ayuda ahorrar bastante tiempo en el modelado manual de zapatas tanto puntuales como corridas.

Inputs requeridos:

- 1) Plano CAD de cimentaciones de las zapatas.
- 2) Layer bien nombrado en el CAD del plano de cimentaciones.

Limitaciones:

- 1) Solo aplica a zapatas cuadradas-rectangulares.
- 2) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.3, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo.

Tabla N° 4.3: Procesos de ejecución aplicativo CI-1

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.7: Se procede a ver el nombre de los layers CAD que contienen a las zapatas.
Paso 2	Figura 3.8: Se procede a crear manualmente en Revit, los diferentes tipos de zapatas existentes en el CAD.
Paso 3	Figura 3.10: Importar el CAD en el nivel correspondiente.
Paso 4	Figura 3.11: Ejecución del aplicativo “CI-1”.
Paso 5	Figura 3.12: Se obtiene el modelado de las zapatas.

Ejecución paso a paso del aplicativo: Aplicativo CI1 - “Modelado automatizado de zapatas”

Una vez obtenidos los planos 2D en CAD, se procede a realizar el modelo 3D en un software BIM, por ejemplo, en Revit. En CAD todas las figuras están relacionadas a través de un layer con un color determinado. Tener mapeado el nombre o la forma en que se les asignado este layer a cada figura en el CAD es importante para considerarlo dentro de la automatización con lenguaje C#. Se procede hacer análisis de los diferentes tipos de zapatas existentes en el CAD. Tener un buen flujo de trabajo para nombrar correctamente los layers, ayuda mejorar la programación para la pronta identificación de los layers correspondientes. Se procede a verificar con qué nombre se han asignado los layers que contienen al modelado de las zapatas en el AutoCAD.

En la siguiente Figura 4.1, se muestra como ejemplo en color “magenta” el layer relacionado al dibujo de las zapatas desde AutoCAD.

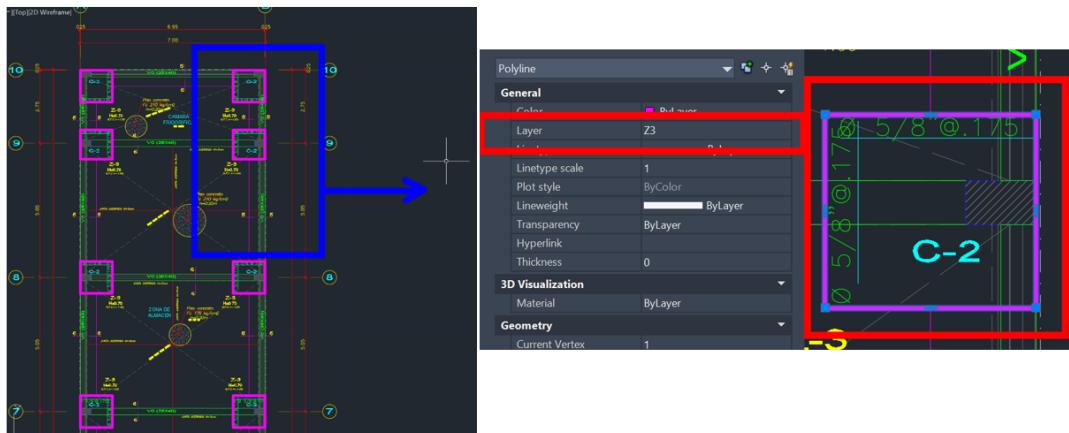


Figura N° 4.1: Coloración de layers en AutoCAD

(Fuente: Elaboración propia)

Se procede a crear manualmente en Revit, los diferentes tipos de zapatas existentes en el CAD. En la siguiente Figura 4.2, se muestra la tabla de “Tipos” de zapatas que se están creando manualmente. En el lado izquierdo se ve la creación del “Tipo” de zapata “Z2” y en el lado derecho el “Tipo” de zapata “Z3”. Este procedimiento también puede ser automatizado mediante el método “Duplicate()” correspondiente a la clase “ElementType” de la API de Revit.

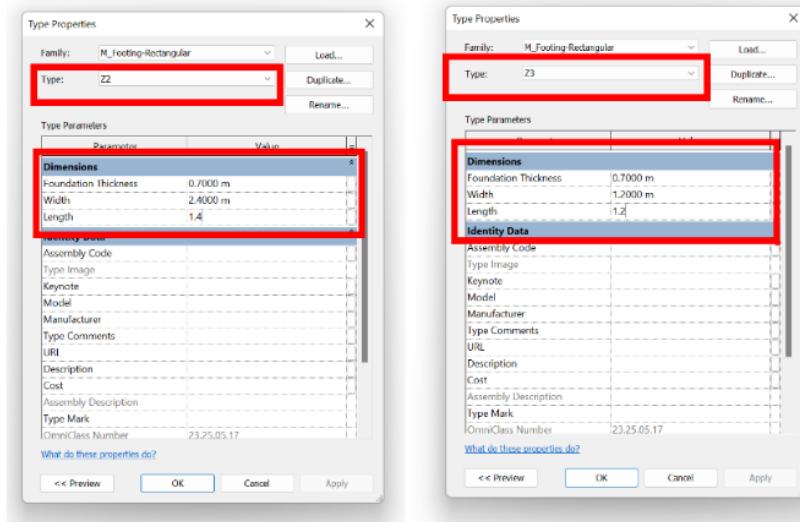


Figura N° 4.2: Creación de los tipos de zapatas en Revit

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.3, se muestra información obtenida de la API de Revit en la nube, dando a conocer el método “Duplicate()” de la clase “ElementType”.

Duplicate Method

Revit 2022.1 API

[ElementType Class](#) | [See Also](#)

Duplicates an existing element type and assigns it a new name.

**Namespace:** Autodesk.Revit.DB

**Assembly:** RevitAPI (in RevitAPI.dll) Version: 22.0.0.0 (22.1.1.0)

**Syntax**

C#

```
public ElementType Duplicate(  
    string name  
)
```

**Parameters**

**name**  
Type: System.String  
The new name of the element type.

**Return Value**  
The duplicated element type.

Figura N° 4.3: Método “Duplicate()” de la clase “ElementType”

(Fuente: Página: [www.apidocs.co](http://www.apidocs.co))

En la siguiente Figura 4.4, se procede a importar los CAD en sus diferentes niveles correspondientes para luego ejecutar el aplicativo “CI-1”.

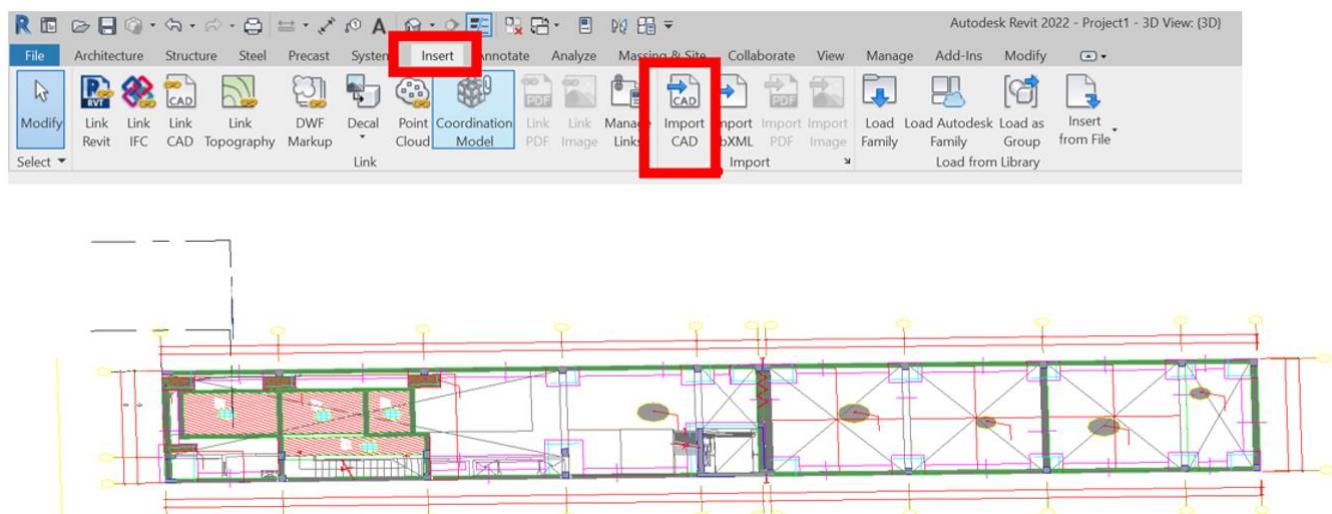


Figura N° 4.4: Importación de planos AutoCAD en Revit

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.5, se ejecuta el aplicativo “Modelado automatizado de zapatas: CI-1”



Figura N° 4.5: Ejecución del aplicativo “CI-1”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.6, se muestra el resultado del aplicativo “CI-1” en donde se obtiene el modelado de las zapatas de manera automatizada, dejando de lado los procesos tradicionales en que el usuario viene modelando manualmente y de manera repetitiva. Este modelado es solo a nivel geométrico y no a nivel de información. Se recomienda que en las sesiones ICE se determine qué tipo de información gráfica y no gráfica se deberá ingresar para al modelo BIM para gestionarlo, ejecutarlo y controlarlo de la mejor manera de acuerdo a las características específicas del proyecto.

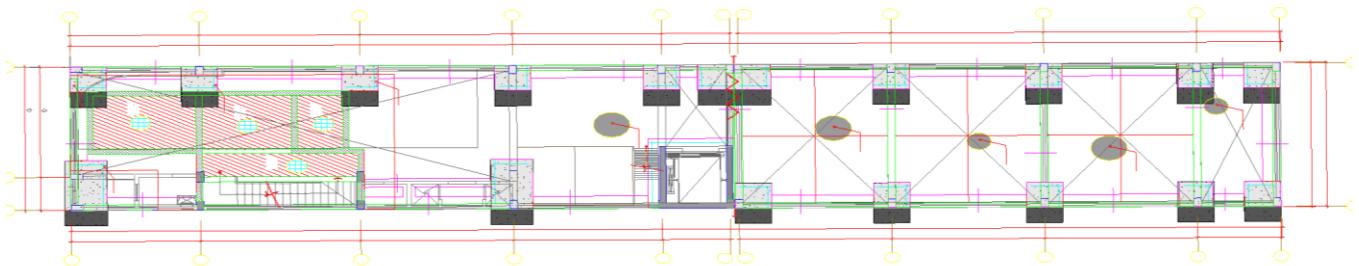


Figura N° 4.6: Resultado del aplicativo “CI-1”

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.2 Aplicativo CI2: “Modelado automatizado de columnas”

Nombre del aplicativo: APPLICATIVO CI2 - “Modelado automatizado de columnas”

##### Problema a resolver:

En muchos proyectos de ingeniería, y más aún para proyectos de gran complejidad y envergadura, existen tareas repetitivas que ralentizan el proceso de gestionamiento de información BIM. Lo que se viene haciendo usualmente es modelar elemento por elemento estructural, lo que indudablemente, obliga al desgaste de recursos y obtención de información de manera tardía y mal procesada.

##### Descripción:

Lo que busca este aplicativo es enfatizar la “automatización” que forma parte del core de BIM (visualización-información-automatización) para poder modelar instantáneamente las columnas con forma rectangular-cuadrada y/o placas estructurales con forma “L”, “T”, “U”.

##### Alcances:

Esta automatización es de gran alcance para proyectos de gran envergadura, donde ayuda a ahorrar bastante tiempo en el modelado manual de columnas.

##### Inputs requeridos:

- 1) Planos CAD estructurales en planta de las columnas.
- 2) Layer de las columnas bien nombradas en el CAD.

##### Limitaciones:

- 1) No modela columnas inclinadas.
- 2) Solo modela columnas de concreto.

- 3) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.4, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CI-2.

Tabla N° 4.4: Procesos de ejecución aplicativo CI-2

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.13: Identificar los nombres de los layers asociados a las columnas en el CAD.
Paso 2	Figura 3.14: Importar el CAD en el nivel correspondiente.
Paso 3	Figura 3.15: Se ejecuta el aplicativo.
Paso 4	Figura 3.16: Se obtiene el modelado de las columnas en cuestión de segundos.

Ejecución paso a paso del aplicativo: APPLICATIVO CI2 - “Modelado automatizado de columnas”

Una vez obtenidos los planos 2D en CAD, se procede a realizar el modelo 3D en un software BIM, por ejemplo, en Revit. En CAD todas las figuras están relacionadas a través de un layer con un color determinado. Tener mapeado el nombre o la forma en que se les asignado este layer a cada figura en el CAD es importante para considerarlo dentro de la automatización con lenguaje C#. Se procede hacer análisis de los diferentes tipos de columnas existentes en el CAD. Tener un buen flujo de trabajo para nombrar correctamente los layers, ayuda mejorar la programación para la pronta identificación de los layers correspondientes. Se procede a verificar con qué nombre se han asignado los layers que contienen al modelado de las columnas en el AutoCAD. En la siguiente Figura 4.7, se muestra en color “rojo” los layers relacionados al dibujo de las columnas desde AutoCAD.

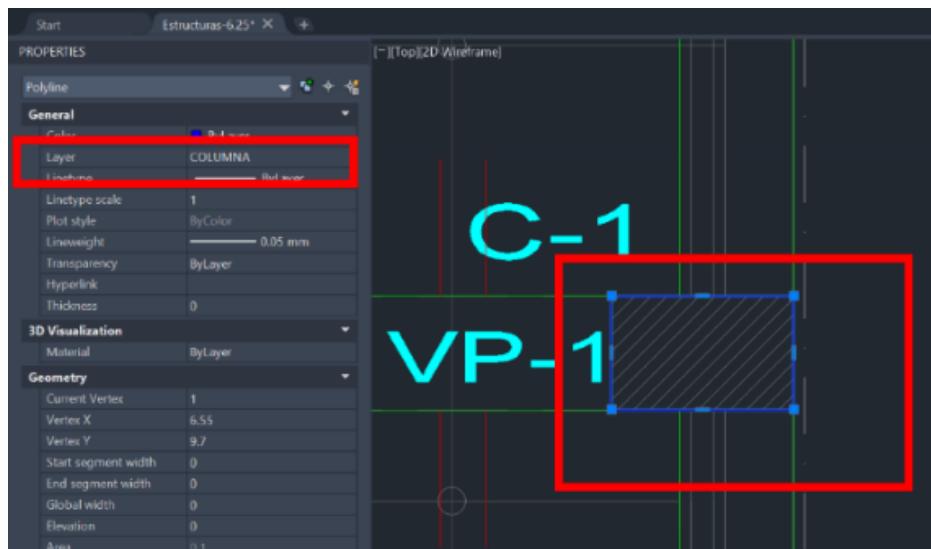


Figura N° 4.7: Coloración de layers en AutoCAD

(Fuente: Elaboración propia)

Se procede a importar los CAD en sus diferentes niveles correspondientes para luego ejecutar el aplicativo “CI-2”. Véase la Figura 4.8.

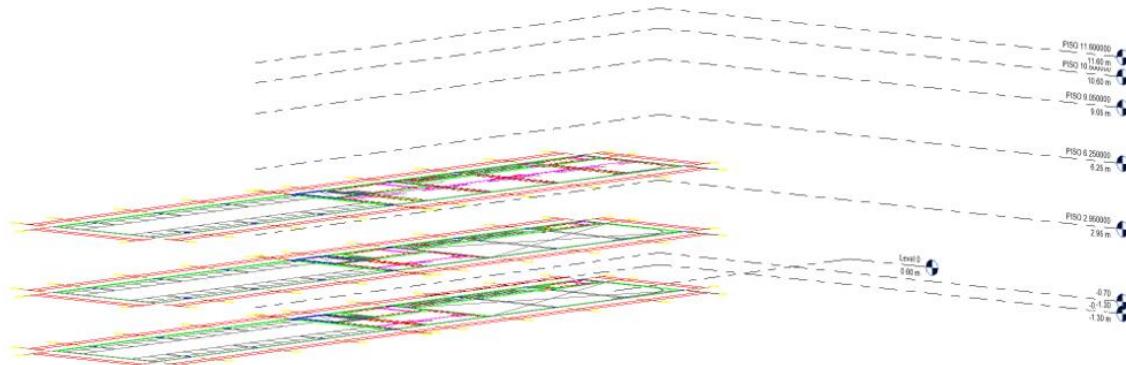
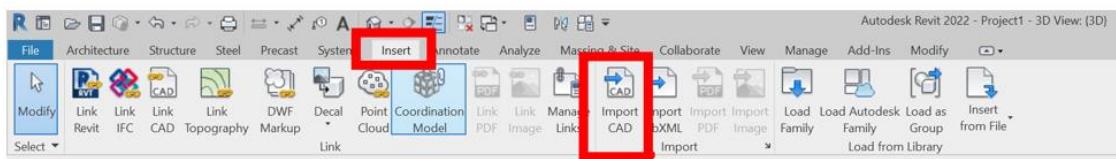


Figura N° 4.8: Importación de planos AutoCAD en Revit

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.9, se ejecuta el aplicativo “Modelado automatizado de columnas”.



Figura N° 4.9: Ejecución del aplicativo “Modelado automatizado de columnas”

(Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 4.10, finalmente se obtiene el modelado de las columnas de manera automatizada, dejando de lado los procesos tradicionales en que el usuario viene modelando manualmente y de manera repetitiva. Este modelado es solo a nivel geométrico y no a nivel de información.

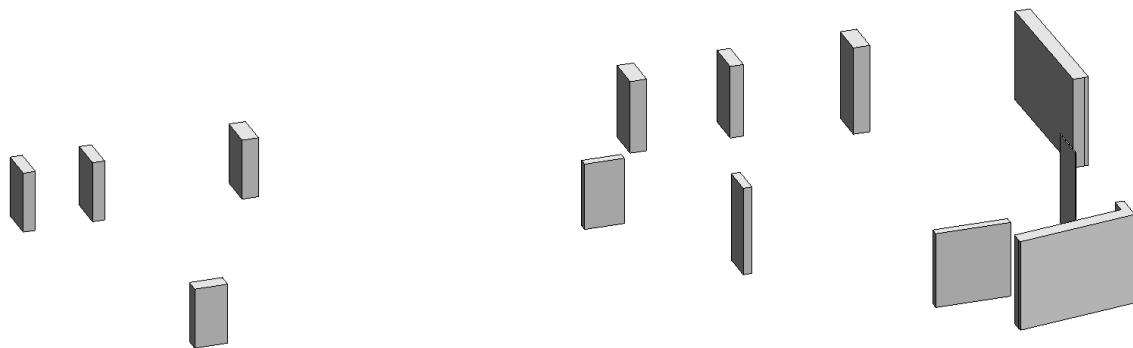


Figura N° 4.10: Resultado del aplicativo “CI-2”

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.3 Aplicativo CI3: “Modelado automatizado de vigas”

Nombre del aplicativo: APLICATIVO CI3 - “Modelado automatizado de vigas”

Problema a resolver:

En muchos proyectos de ingeniería, y más aún para proyectos de gran complejidad y envergadura, existen tareas repetitivas que ralentizan el proceso de gestionamiento de información BIM. Lo que se viene haciendo usualmente es modelar elemento por elemento estructural, lo que indudablemente, obliga al desgaste de recursos.

Descripción:

Lo que busca este aplicativo es enfatizar la “automatización” que forma parte del core de BIM (visualización-información-automatización) para poder modelar instantáneamente las vigas con forma rectangular-cuadrada.

Alcances:

Esta automatización es de gran alcance para proyectos, donde ayuda ahorrar bastante tiempo en el modelado manual de vigas.

Inputs requeridos:

- 1) Planos CAD estructurales en planta de las vigas.
- 2) Layer de las vigas bien nombradas en el CAD.

Limitaciones:

- 1) Solo aplica para vigas horizontales.
- 2) No aplica para vigas de sección variable.
- 3) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.5, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CI-3.

Tabla N° 4.5: Procesos de ejecución aplicativo CI-3

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.17: Importar los CAD a sus diferentes niveles en el Revit.
Paso 2	Figura 3.18: Ejecución del aplicativo “CI-3”.
Paso 3	Figura 3.19: Se crean los diferentes tipos de vigas existentes en el CAD de manera automática a través de un filtrado respectivo.
Paso 4	Figura 3.20: Se selecciona el nivel del CAD importado a la cual se desea modelar automáticamente las vigas.
Paso 5	Figura 3.21: Se obtiene el modelado de vigas en cuestión de segundos.

Ejecución paso a paso del aplicativo APLICATIVO CI3 - “Modelado automatizado de vigas”

Se procede a importar los CAD en sus diferentes niveles correspondientes para luego

ejecutar el aplicativo “CI-3”. Véase la Figura 4.11.

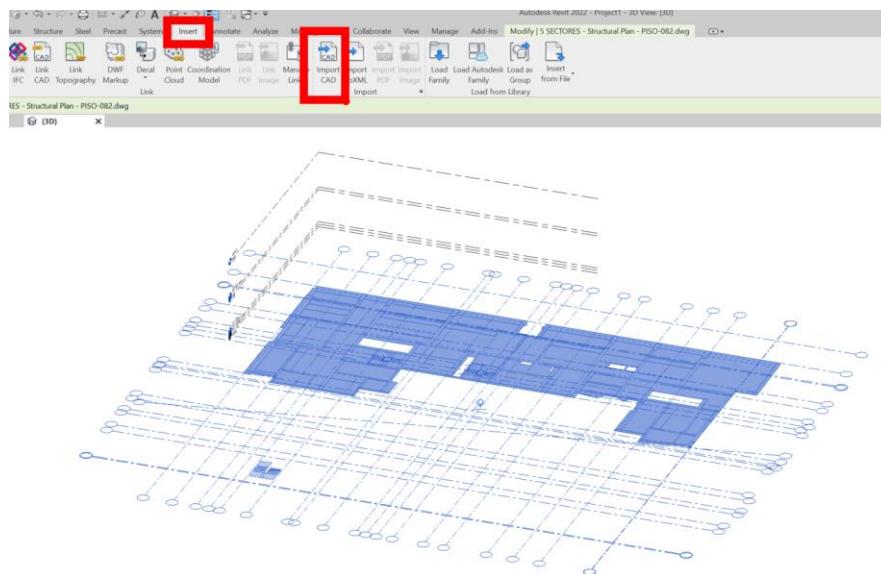


Figura N° 4.11: Importación de planos AutoCAD en Revit.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.12, se muestra la ejecución del aplicativo “Modelado automatizado de vigas”.



Figura N° 4.12: Ejecución del aplicativo “Modelado automatizado de vigas”

(Fuente: Elaboración propia)

El alcance de esta automatización, es que logra crear los diferentes tipos de vigas existentes en el CAD de manera automática a través de un filtrado respectivo. Se verifica que se hayan creado los diferentes tipos de vigas existente en el CAD hacia el Revit. Véase Figura 4.13.

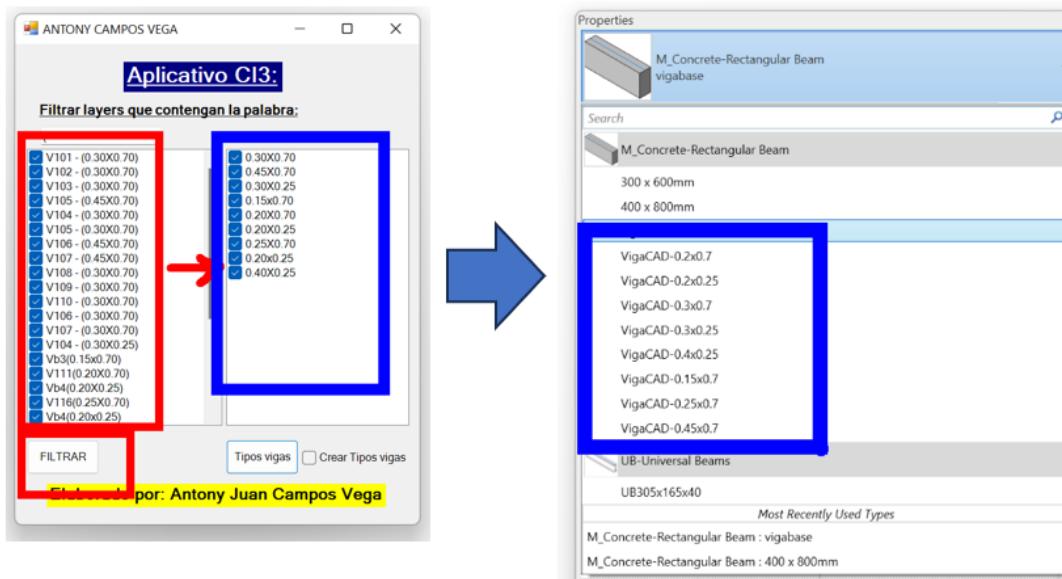


Figura N° 4.13: Creación de los diferentes tipos de vigas desde CAD

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.14, se muestra la selección del nivel de CAD importado.

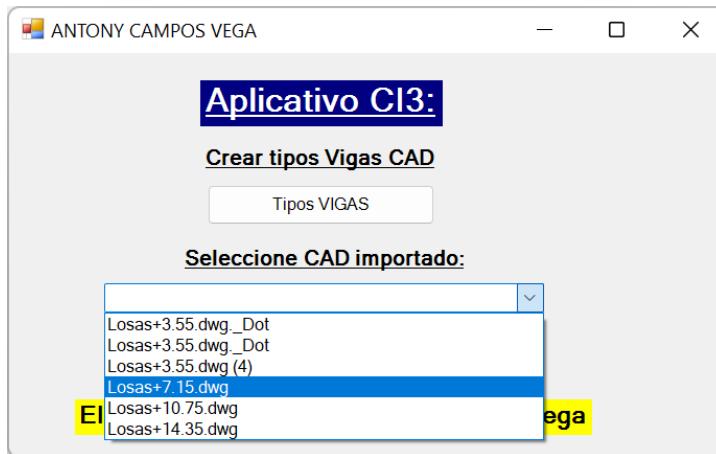


Figura N° 4.14: Selección del nivel CAD importado

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.15, se muestra finalmente se obtiene el modelado de las vigas de manera automatizada, dejando de lado los procesos tradicionales en que el usuario viene modelando manualmente y de manera repetitiva. Este modelado es solo a nivel geométrico y no a nivel de información.

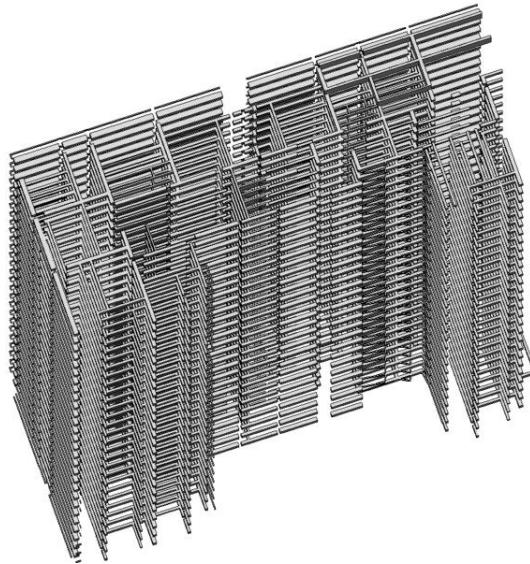


Figura N° 4.15: Resultado del aplicativo “CI-3”

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.4 Aplicativo CI4: “Modelado automatizado de losas”

Nombre del aplicativo: Aplicativo CI4 - “Modelado automatizado de losas”

Problema a resolver:

En muchos proyectos de ingeniería, y más aún para proyectos de gran complejidad y envergadura, existen tareas repetitivas que ralentizan el proceso de gestionamiento de información BIM. Lo que se viene haciendo usualmente es modelar elemento por elemento estructural, lo que indudablemente, obliga al desgaste de recursos y obtención de información de manera tardía y mal procesada.

Descripción:

Lo que busca este aplicativo es enfatizar la “automatización” que forma parte del core de BIM (visualización-información-automatización) para poder modelar instantáneamente las losas con cualquier tipo de forma.

Alcances:

Esta automatización es de gran alcance para proyectos de gran envergadura, donde ayuda ahorrar bastante tiempo en el modelado manual de losas.

Inputs requeridos:

- 1) Planos CAD estructurales en planta de las losas.
- 2) Layer de las losas bien nombradas en el CAD.

Limitaciones:

- 1) No se aplica a losas inclinadas.
- 2) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.6, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CI-4.

Tabla N° 4.6: Procesos de ejecución aplicativo CI-4

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.22: Se procede a verificar el nombre del layer en el CAD que contiene a las losas. Esto es input para la programación.
Paso 2	Figura 3.23: Se procede a importar los diferentes CAD que son pisos no atípicos.
Paso 3	Figura 3.24: Ejecución del aplicativo “CI-4”.
Paso 4	Figura 3.26: Una vez obtenidas las losas modeladas de manera automatizada, se procede a copiar y pegarlas en sus pisos superiores “típicos” correspondientes.

#### Ejecución paso a paso del aplicativo Aplicativo CI4 - “Modelado automatizado de losas”

Una vez obtenidos los planos 2D en CAD, se procede a realizar el modelo 3D en un software BIM, por ejemplo, en Revit. En CAD todas las figuras están relacionadas a través de un layer con un color determinado. Tener mapeado el nombre o la forma en que se les asignado este layer a cada figura en el CAD es importante para considerarlo dentro de la automatización con lenguaje C#. Se procede hacer análisis de los diferentes tipos de zapatas existentes en el CAD. Tener un buen flujo de trabajo para nombrar correctamente los layers, ayuda mejorar la programación para la pronta identificación de los layers correspondientes.

En la siguiente Figura 4.16 se procede a verificar con qué nombre se han asignado los layers que contienen al modelado de las losas en el AutoCAD. En la siguiente figura se muestra en color “rojo” el layer relacionado al dibujo de las losas desde AutoCAD.

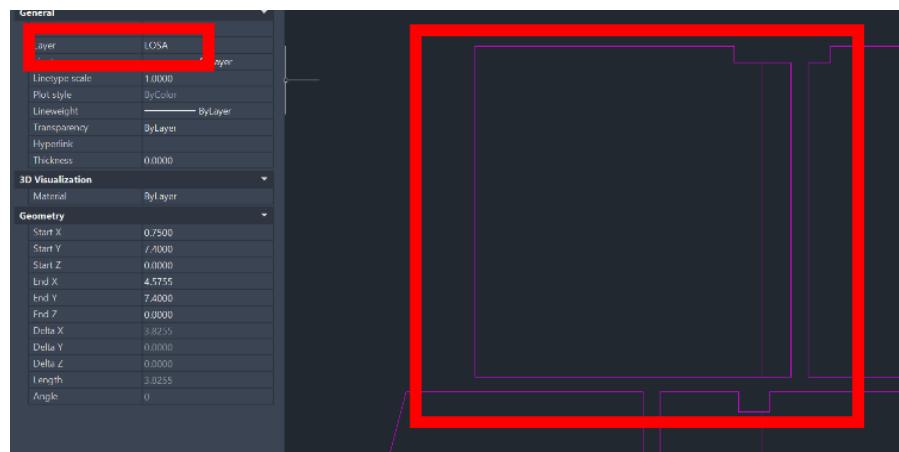


Figura N° 4.16: Layers desde AutoCAD

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.17, se procede a importar los CAD en sus diferentes niveles

correspondientes para luego ejecutar el aplicativo “CI-4”. En la siguiente figura, en cada nivel se importó el plano de planta de AutoCAD correspondiente.

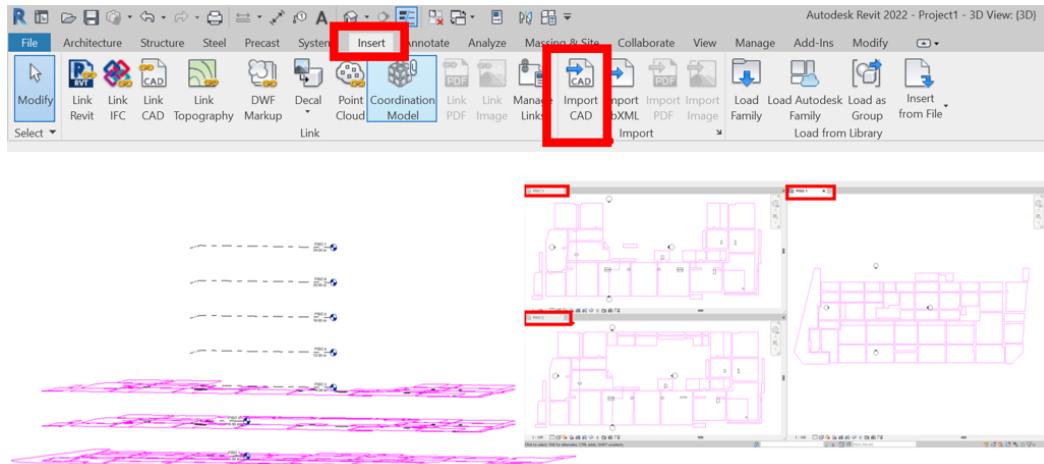


Figura N° 4.17: Importación de planos de planta en Revit

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.18, se procede a ejecutar el aplicativo “Modelado automatizado de losas”.

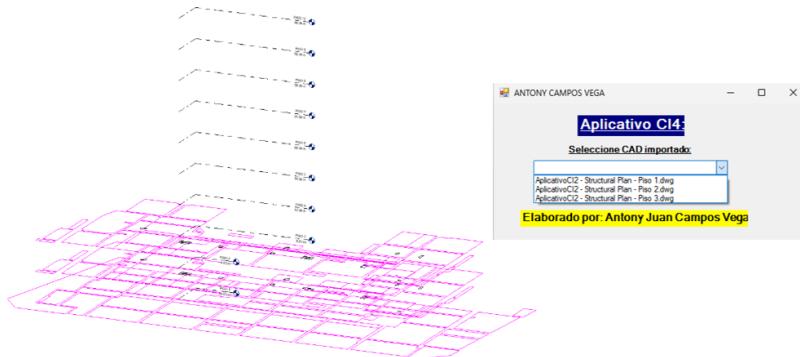


Figura N° 4.18: Ejecución del aplicativo “Modelado automatizado de losas”  
(Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 4.19, se muestra finalmente se obtiene el modelado de las losas de manera automatizada, dejando de lado los procesos tradicionales en que el usuario viene modelando manualmente y de manera repetitiva. Este modelado es solo a nivel geométrico y no a nivel de información. Se recomienda que en las sesiones ICE se determine qué tipo de información se deberá ingresar para gestionarlo, ejecutarlo y controlarlo de la mejor manera. El aplicativo tiene la opción para poder automatizar el CAD importado por niveles no atípicos.



Figura N° 4.19: Resultado aplicativo “CI-4” a diferentes niveles importados desde el CAD  
(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.20, se muestra el resultado de la ejecución del aplicativo “CI-4”.

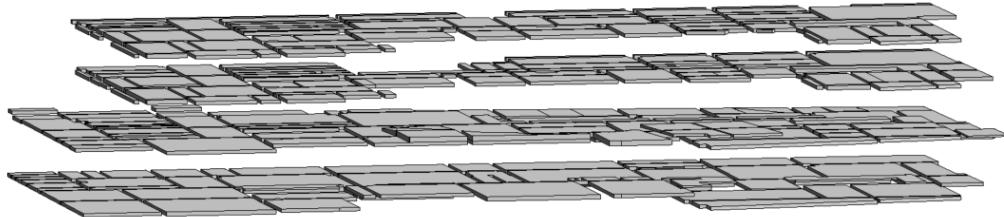


Figura N° 4.20: Resultado del aplicativo “CI-4”  
(Fuente: Elaboración propia)

Una vez obtenidas las losas modeladas de manera automatizada, se procede a copiar y pegarlas en sus pisos superiores “típicos” correspondientes.

Recomendaciones:

- 1) Se recomienda mejorar la programación para el modelado automático de losas inclinadas y/o de los diferentes tipos de escaleras.

#### 4.1.5 Aplicativo C-I5: “Sectorización”

Nombre del aplicativo: APPLICATIVO C-I5 - “Sectorización del caso estructural”

Problema a resolver:

¿Qué herramientas se vienen usando para realizar la sectorización en un proyecto de construcción?

Se vienen usando métodos que no manifiestan un dinamismo actualizable con un modelo BIM.

Lo que usualmente se hace es tomar un screenshot a los planos estructurales en planta desde el CAD, bajarles la resolución o nitidez y se les comienza a “calcar” en una hoja de Excel, es decir, se vuelve a dibujar de manera aproximada el contorno del plano estructural, para luego, generar cuadraditos de “1 unidad”, luego, se le empieza a dar colores hasta conseguir el “balance buscado”. Este proceso se repite nuevamente, si es que se desea cambiar el número de sectores o cualquier modificación del proyecto. Se debería agilizar este proceso.

Descripción:

Como se mencionó en el marco teórico, los proyectos de construcción son de naturaleza iterativa e integradora. Con este aplicativo se propone reducir el tiempo requerido por los cálculos realizados manualmente contando con la data actualizada.

Dentro de la filosofía de Lean Construction, su herramienta metodológica Last Planner System, busca de alguna u otra manera equilibrar los volúmenes de trabajo, lo que en el mundo de la construcción se conoce como “metrados de concreto”. Esto se consiguen “dividiendo” en partes iguales el metrado, con la finalidad de que todos los días, cada cuadrilla siempre produzca lo mismo, y por ende, los errores son cada vez menos, generando una curva de aprendizaje sobre los last planner o conocidos también como los últimos planificadores, que son la gente que está en campo, que conocen el terreno, las dificultades, y quienes conocen mejor el trabajo y rendimiento de sus cuadrillas respectivas.

El número de sectores que tenga un proyecto de edificación, será el resultado de un proceso colaborativo entre los principales interesados del proyecto, ya que esto depende de varios factores, como por ejemplo, ratios y rendimientos históricos de la constructora, concreto, acero y encofrado disponible para la obra, horario laboral, recursos disponibles, accesos a través del layout de la obra, procesos constructivos, factores externos, riesgos, área de losas, cortes estructurales, juntas de construcción, etc.

Es el número de sectores, quien dará la velocidad de la obra, es por eso, que se debería agilizar este proceso, y obtener en menor tiempo, un abanico de diferentes posibilidades con diferentes sectores para que se tome la decisión de la mejor manera.

¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone usar herramientas de programación, de tal manera que permita generar una app que de manera dinámica actualice en tiempo real nuestro modelo BIM y la sectorización deseada. Esta app tiene la capacidad de considerar elementos verticales (columnas, muros, placas) y horizontales (vigas, losas). Con esta app, se tendrían resultados automatizados, permitiendo tener un trabajo más pausable, medible y no depender de una hoja de Excel que se deba de estar actualizando con cada cambio generado en los planos por factores externos y/o a pedido del constructor y/o diseñador y por ende, en el modelo BIM.

Alcances:

La mejor alternativa del número de sectores se logra mediante una decisión de trabajo colaborativo entre los principales interesados del proyecto. El aplicativo solo proporciona un rango de sectores entre [2-6]. En caso que hayan más sectores, se recomienda hacerlo en diferentes frentes de trabajo.

En la siguiente Figura 4.21, se muestra la ejecución del aplicativo a un proyecto de edificación.

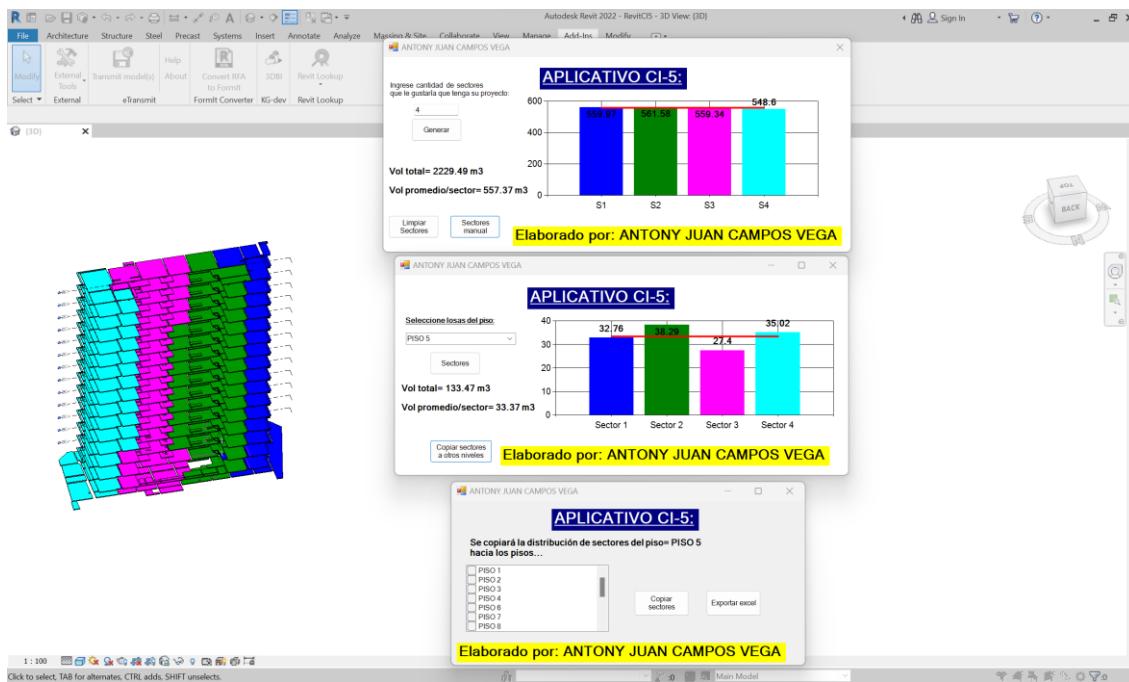


Figura N° 4.21: Ejecución del aplicativo a un proyecto de edificación

(Fuente: Elaboración propia)

#### Inputs requeridos:

- 1) Tener el casco estructural previamente modelado.
- 2) Tener establecido el color de los sectores con los que se trabajará.

#### Limitaciones:

- 1) No decide el número de sectores. Son los ingenieros que de manera colaborativa deciden los número de sectores.
- 2) No considera cortes transversales en vigas y losas (L/3, 2L/3). Posteriormente, a través de sesiones con especialistas en estructuras, se puede optimizar la sectorización considerando los cortes.

- 3) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.
- 4) Se propone que la cantidad de sectores en un proyecto de edificación dependa de lo siguiente:

En la siguiente Tabla 4.7, se propone que la cantidad de sectores en un proyecto de edificación dependa de lo siguiente:

Tabla N° 4.7: Condiciones de sectorización

1. De los ratios y rendimientos históricos. Se busca ejecutar una obra con la menor cantidad de "HH/m3, HH/kg, etc" y a la mayor velocidad de "m3/día, m2/día, etc".
2. Ritmo de la actividad cuello botella (actividad crítica o recurso crítico).
3. Restricciones.
  - a. Concreto disponible por día.
  - b. Encofrado disponible por día.
  - c. Acero disponible por día.
  - d. Horarios laborales.
  - e. Recursos de la empresa.
  - f. Personal obrero disponible.
4. Layout de la obra, accesos de la obra.
5. Procesos constructivos, no es lo mismo encofrar columnas en forma de "L, U, T, circulares" que encostrar columnas rectangulares. Son encofrados diferentes con ratios diferentes.
6. Grado de industrialización que tenga el proyecto. Losas, vigas prearmadas.
7. No todos los proyectos se podrán sectorizar. Esto depende que la empresa tenga implementado la filosofía Lean Construction.
8. Factores externos, variabilidad.
9. Riesgos del proyecto. No confundirlo con "problema". Un problema ya ocurrió, un riesgo, todavía.
10. Áreas de las losas. Mayormente se busca áreas  $\leq 200\text{m}^2$ , debido a que esto va de la mano con el horario laboral 8 horas. Si se desea trabajar con mayores áreas, se debería gestionar permisos con la municipalidad. En obras lejanas a las ciudades esto no sería una restricción.
11. Depende de una participación colaborativa.
12. De cortes estructurales.
13. Los sótanos y estructuras podrían trabajarse con diferentes números de sectores. Es decir, los sótanos podrían tener 3 sectores y la estructura podría tener 5 sectores. No necesariamente tienen que ser iguales.
14. Juntas de construcción.

En la siguiente Tabla 4.8, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CI-5.

Tabla N° 4.8: Procesos de ejecución aplicativo CI-5

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.28: Tener las losas y vigas modeladas, previamente se ha usado el aplicativo Automatización de Losas CI-4
Paso 2	Figura 3.29: Crear filtros (ParameterFilterElement) y agregarlos a la vista actual. Comando "VV".
Paso 3	Figura 3.30: Se procede a crear el filtro (ParameterFilterElement) y su nombre respectivo "S1".
Paso 4	Figura 3.31: Se ejecuta el aplicativo "CI-5" con input para 2 sectores.
Paso 5	Figura 3.32: Se ejecuta el aplicativo "CI-5" con input para 3 sectores.
Paso 6	Figura 3.33: Se ejecuta el aplicativo "CI-5" con input para 4 sectores.
Paso 7	Figura 3.34: Se ejecuta el aplicativo "CI-5" con input para 5 sectores.
Paso 8	Figura 3.35: Se ejecuta el aplicativo "CI-5" con input para 6 sectores.
Paso 9	Figura 3.36: Este aplicativo se podría agregarle la opción de una sectorización de manera manual a un piso determinado y replicarla a pisos posteriores.

#### Ejecución paso a paso del aplicativo APLICATIVO CI5 - "Sectorización"

En la siguiente Figura 4.22, se muestra algunas consideraciones antes de ejecutar el aplicativo "CI-5", por ejemplo, se procede a modelar las vigas y losas con el aplicativo "CI-3", "CI4" respectivamente.

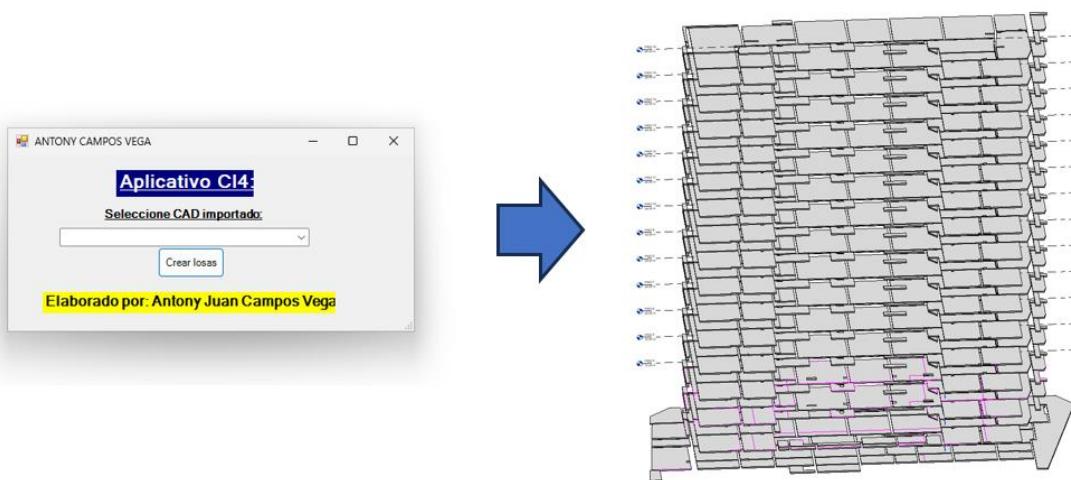


Figura N° 4.22: Modelado de losas con uso del aplicativo "CI-4"

(Fuente: Elaboración propia)

BIM es “Visualización-Información” por lo que se procede a crear el parámetro “SECTOR” con tipo de parámetro “Integer”. Este parámetro “SECTOR” se le debe de asignar el CategorySet: “Floors, Structural Framing, Structural Columns, Walls”. Posteriormente se procede a configurar la visualización a través de la creación de “ParameterFilterElement” (filtros) con las categorías “Floors, Structural Framing, Structural Columns, Walls”. Se recomienda asignar a cada ParameterFilterElement los nombres de “S1”, “S2”, “S3”, “S4”, “S5” “S6” con valor de 1, 2, 3, 4, 5, 6 respectivamente. Este procedimiento es de conocimiento para todo modelador básico. Véase la siguiente Figura 4.23.

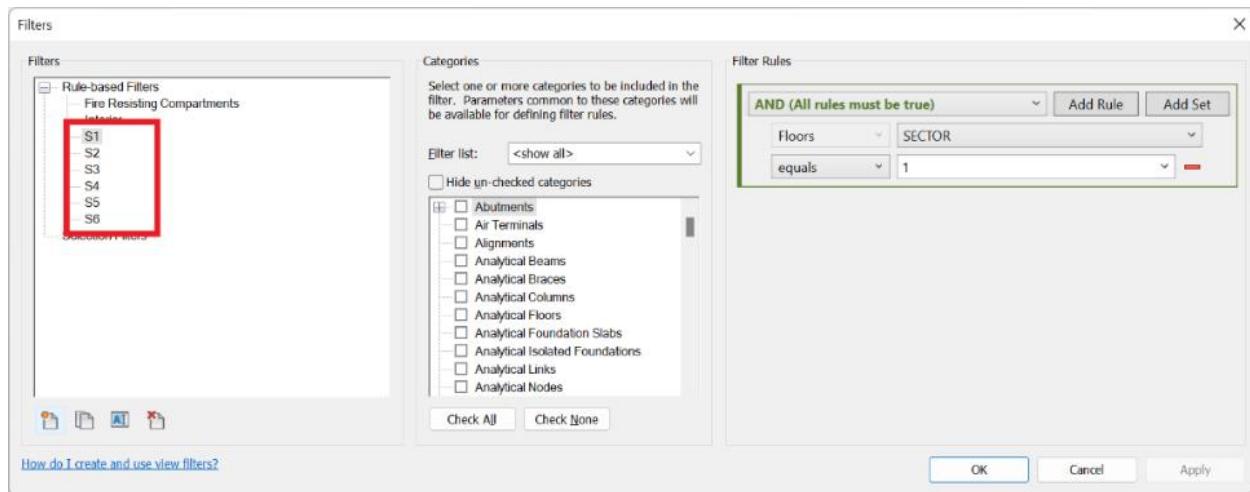
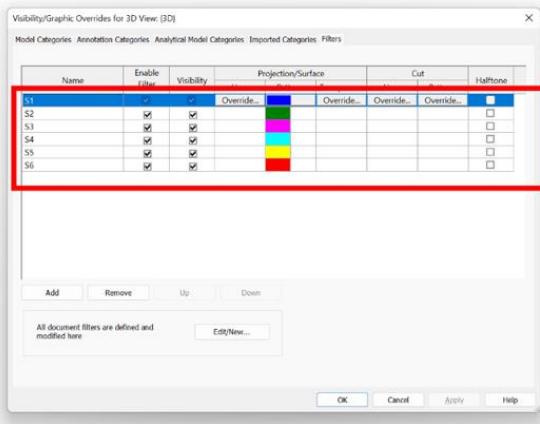


Figura N° 4.23: Creación de los “ParameterFilterElement”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.24, se muestra los colores usados para la visualización de la automatización de sectores.



Name	Enable Filter	Visibility	Projection/Surface	Cut	Halfplane
S1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Override...	<input checked="" type="checkbox"/>	Override...
S2	<input checked="" type="checkbox"/>				
S3	<input checked="" type="checkbox"/>				
S4	<input checked="" type="checkbox"/>				
S5	<input checked="" type="checkbox"/>				
S6	<input checked="" type="checkbox"/>				

SECTOR	FillPatternElement	Color	RGB
S1	<Solid fill>	Azul	0-0-255
S2	<Solid fill>	Verde	0-128-0
S3	<Solid fill>	Magenta	255-0-255
S4	<Solid fill>	Cyan	0-255-255
S5	<Solid fill>	Amarillo	255-255-0
S6	<Solid fill>	Rojo	255-0-0

Figura N° 4.24: Colores usados para la visualización de la automatización de sectores

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.25, se procede a ejecutar el aplicativo “CI-5” para la automatización de sectores, su respectiva visualización y toma de decisión con un input para 2 sectores.



Figura N° 4.25: Automatización con 2 sectores.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.26, se procede a ejecutar el aplicativo “CI-5” para la automatización de sectores, su respectiva visualización y toma de decisión con un input para 3 sectores.

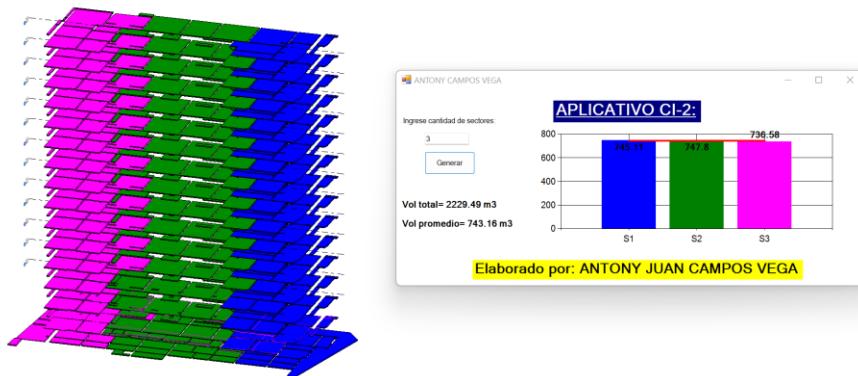


Figura N° 4.26: Automatización con 3 sectores

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.27, se procede a ejecutar el aplicativo “CI-5” para la automatización de sectores, su respectiva visualización y toma de decisión con un input para 4 sectores.

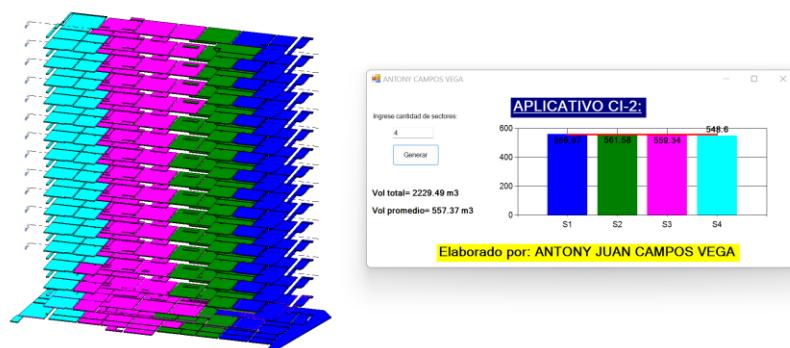


Figura N° 4.27: Automatización con 4 sectores

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.28, se procede a ejecutar el aplicativo “CI-5” para la automatización de sectores, su respectiva visualización y toma de decisión con un input para 5 sectores.

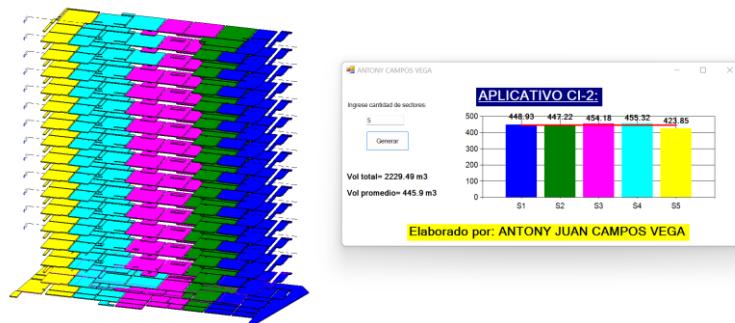


Figura N° 4.28: Automatización con 5 sectores

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.29, se procede a ejecutar el aplicativo “CI-5” para la automatización de sectores, su respectiva visualización y toma de decisión con un input para 6 sectores.

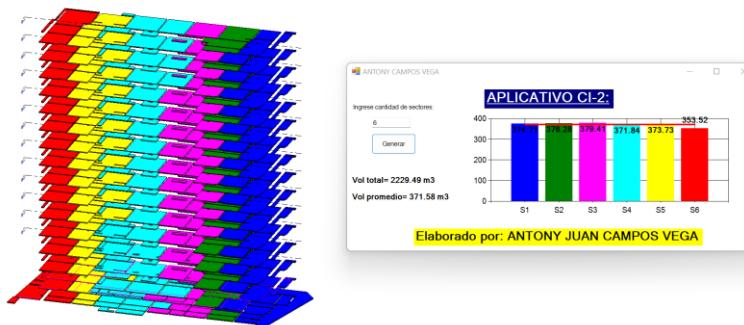


Figura N° 4.29: Automatización con 6 sectores

(Fuente: Elaboración propia)

Al aplicativo se le puede agregar la opción de una sectorización de manera manual a un piso determinado y/o replicarla a pisos posteriores. Véase la Figura 4.30.

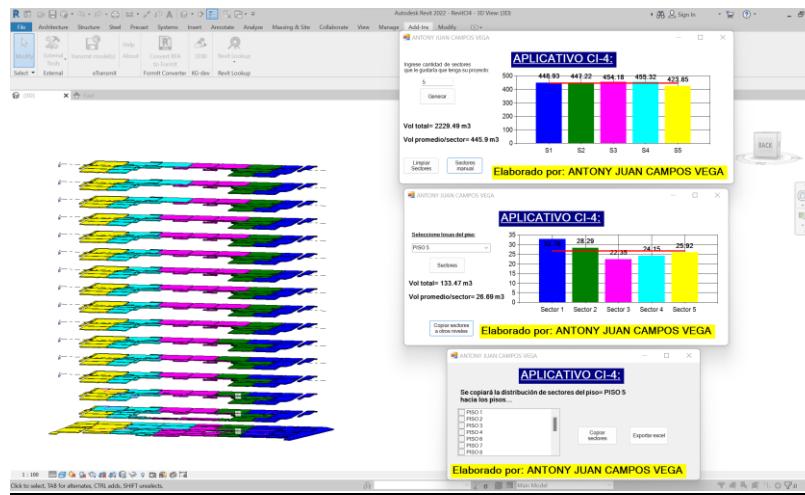


Figura N° 4.30: Opciones del aplicativo CI-4

(Fuente: Elaboración propia)

El aplicativo se mejoró para realizar sectorizaciones ya sea paralelas al eje-x o al eje-y con herramientas de machine learning. Se le pide a la IA, realizar la mejor sectorización con 2 sectores paralelos al eje X.

En la siguiente Figura 4.31, se muestra la mejor solución de sectorización de una edificación con 2 sectores paralelas al eje “X”.

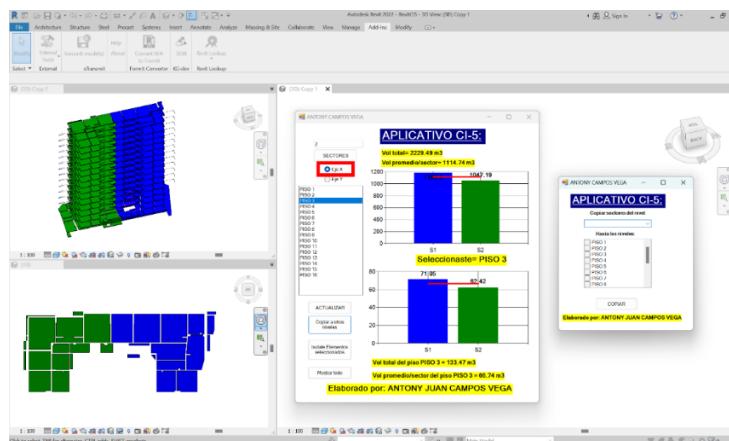


Figura N° 4.31: Automatización con 2 sectores paralelas al eje “X”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.32, se muestra la mejor solución de sectorización de una edificación con 2 sectores paralelas al eje “Y”.

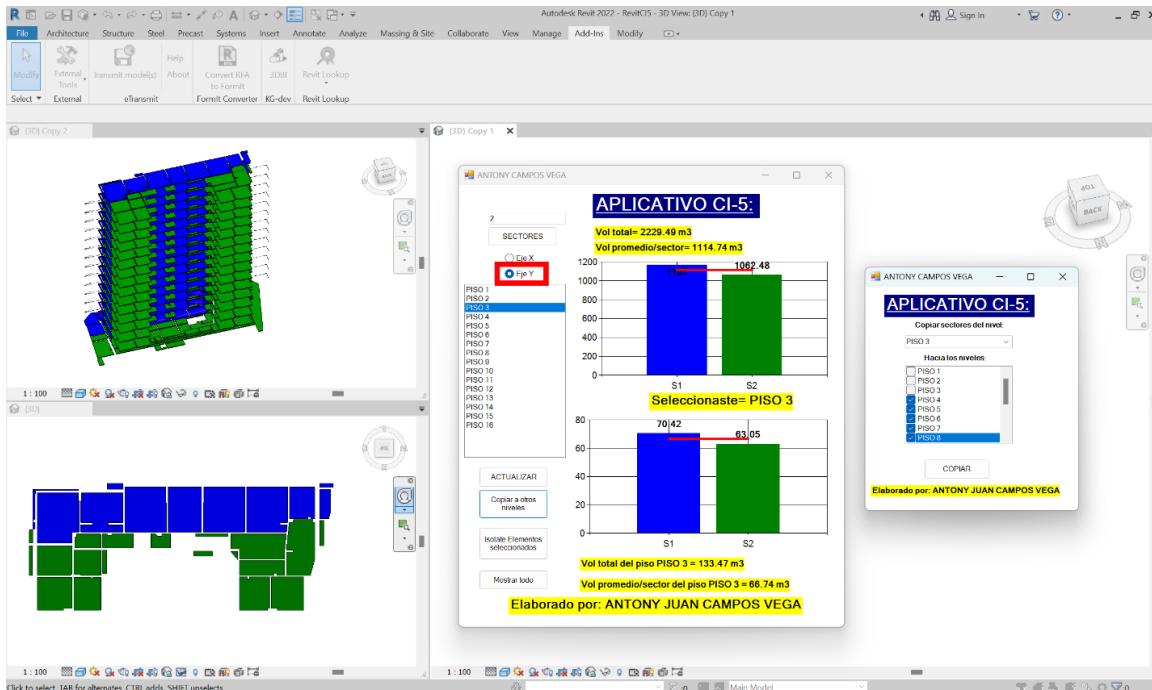


Figura N° 4.32: Automatización con 2 sectores paralelas al eje “Y”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.33, se muestra la mejor solución de sectorización de una edificación con 3 sectores paralelas al eje “X”.

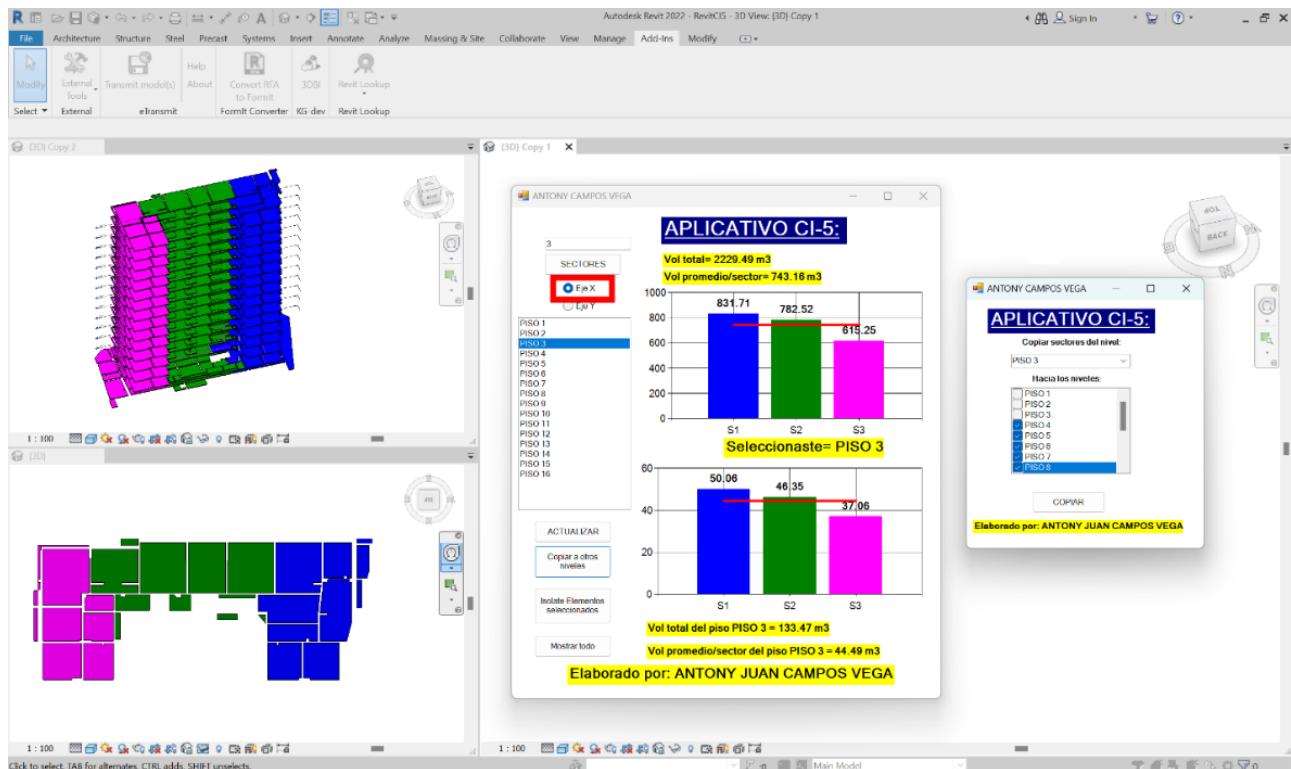


Figura N° 4.33: Automatización con 3 sectores paralelas al eje “X”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.34, se muestra la mejor solución de sectorización de una edificación con 3 sectores paralelas al eje “Y”.

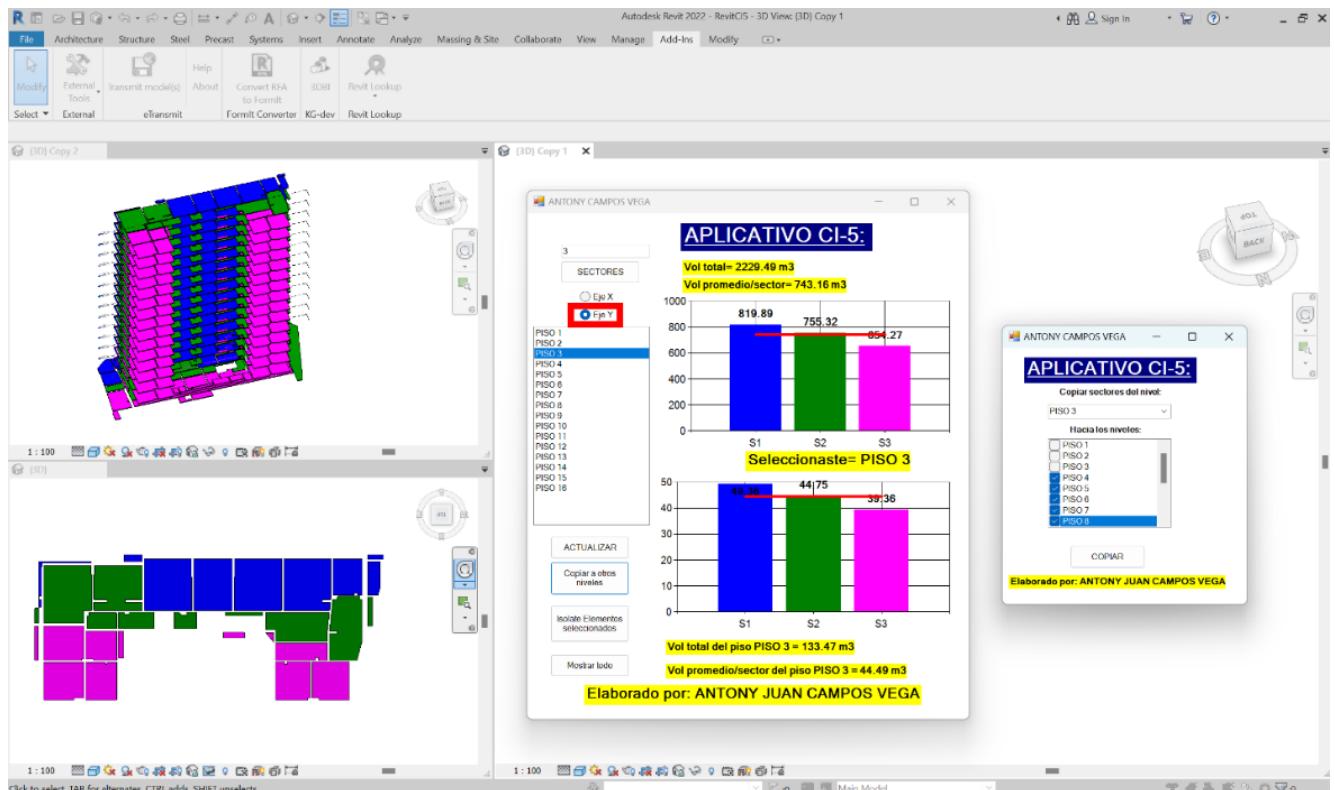


Figura N° 4.34: Automatización con 3 sectores paralelas al eje “Y”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.35, se muestra un resumen de la mejor solución de sectorización para 2 y 3 sectores, con cortes paralelos tanto al eje “X”, “Y”.

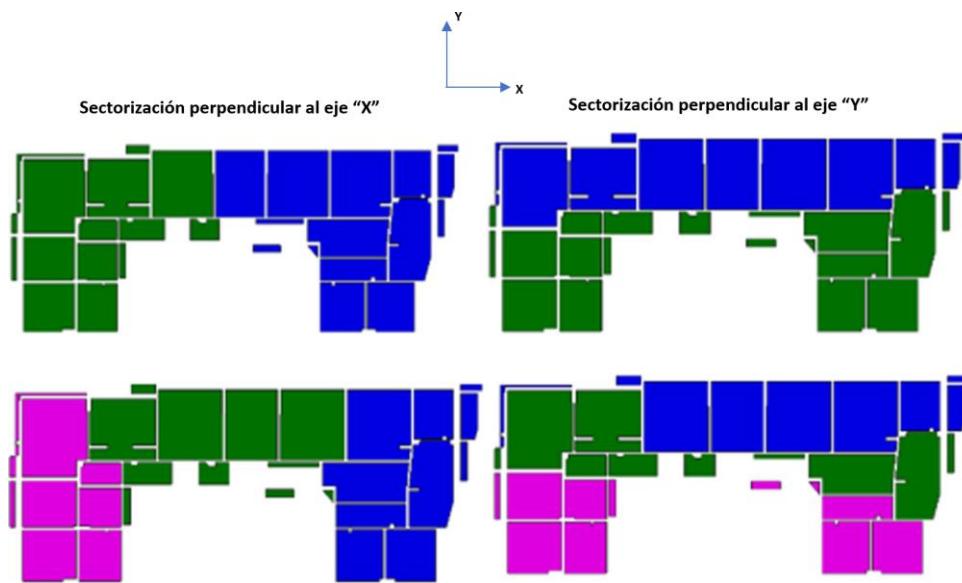


Figura N° 4.35: Resumen de la mejor solución de sectorización.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.36, se muestra el uso del aplicativo “CI-5” para un proyecto de edificación.

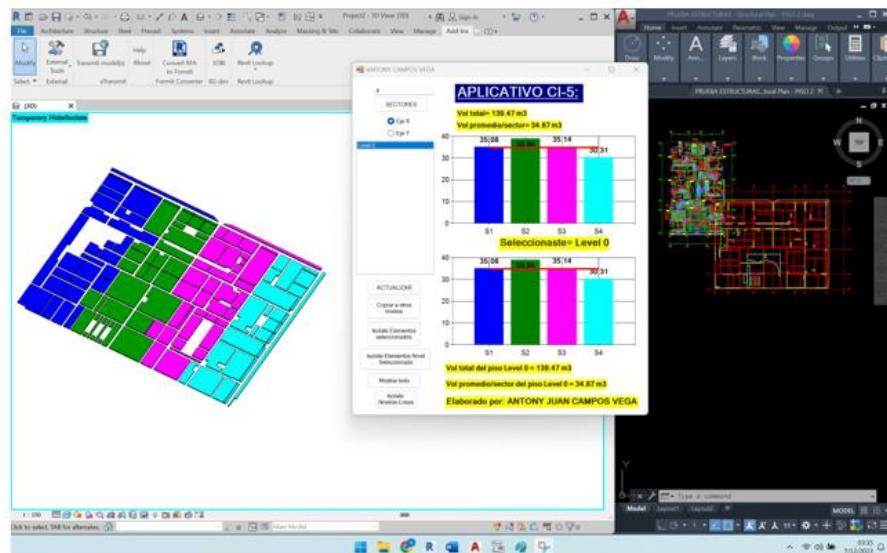


Figura N° 4.36: Demostración del uso del aplicativo “CI-5” para un proyecto de edificación.

(Fuente: Elaboración propia)

El ingeniero y su equipo, con criterios ingenieriles, constructivos y estructurales, determinarán cuál es la mejor opción. En caso que ninguna opción sea favorable, se ejecuta la automatización para otra cantidad de sectores.

La sectorización debe de ser resultado de un trabajo colaborativo a través de las sesiones ICE. Una sesión ICE es muchas más que una reunión. Una reunión es una agrupación de personas que no necesariamente van bajo un mismo objetivo. En una reunión existen códigos de comunicación totalmente diferentes, es decir, una comunicación “vertical” en donde el profesional con más cargo piensa tener licencia para él solo proponer ideas y/o soluciones. En una sesión ICE todos van bajo un mismo objetivo, el objetivo de solucionar problemas, identificar interferencias, ver procesos de constructabilidad, obtener metrados, ver el estado actual del proyecto, predecir el comportamiento del proyecto a través de prototipos reales y virtuales. En una sesión ICE existe un mismo código de comunicación “horizontal” en donde todos los profesionales, sin importar el cargo que tengan, proponen de la misma manera. ICE significa: Integrated Concurrent Engineering. “Integrated” dado que un proyecto de edificación aún no está sujeta a una fórmula matemática, este es el resultado de la interacción de varias disciplinas, “Concurrent” ya que es todo un reto gestionar un proyecto donde la ingeniería y la ciencia avanzan cada día, y “Engineering” porque la ingeniería es la ciencia de la aproximación, la ciencia del muestro y que las única ciencia exacta es la matemática.

#### Recomendaciones:

- 1) Dentro del aplicativo no se están considerando los cortes a L/3 ó 2L/3 tanto en vigas como en losas. Este es un input que se obtiene a través de las sesiones colaborativas con los expertos en estructuras quienes a través de sesiones colaborativas con el residente del proyecto brindarán el visto bueno para integrarlo en la programación.
- 2) Se recomienda seguir un estándar de modelado BIM. Algunos modeladores prefieren modelar las placas estructurales de concreto con la categoría “Walls” cuando lo más

recomendable sería modelarlo con la categoría “Structural Columns” ya que este último facilita más la gestión al momento de automatizar el modelado de encofrados que se está desarrollando en esta tesis. En el caso de modelar muros de corte y/o placas estructurales, se recomienda modelarlo como “Structural Columns” (lado derecho) y no como “Walls” (lado izquierdo) de la siguiente figura. Véase la Figura 4.37.

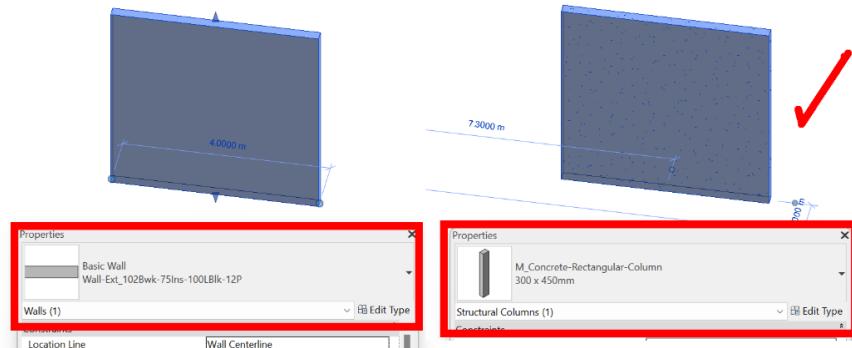


Figura N° 4.37: Recomendaciones de modelado en elementos verticales

(Fuente: Elaboración propia)

- 3) Si el modelado ha sido desarrollado modelando los muros con la categoría “Walls” se podría realizar la programación para convertirlos en categoría “Structural Columns”.
- 4) En caso se quiera sectorizar tanto la subestructura como la superestructura de manera diferente, esto se puede considerar dentro de la programación.
- 5) Se recomienda realizar el modelo BIM de acuerdo a su objeto establecido en el “Plan de Ejecución BIM” ya que un modelado puede tener diferentes finalidades, en este caso el proceso constructivo. Evitar realizar modelado de losas por “grupos” ya que en la ejecución estas se construyen una por una. Por ejemplo, en las figuras siguientes se trata de evitar modelados donde claramente se ven 4 losas, sin embargo, Revit solo considera “1 losa” debido a que su modelado fue por “grupos”. Se recomienda realizar modelados de losas sin “grupos” en donde sí se respete el proceso de modelado.

En la siguiente Figura 4.38, se muestra un error común al modelar losas en un proyecto BIM, haciendo uso del software Revit.

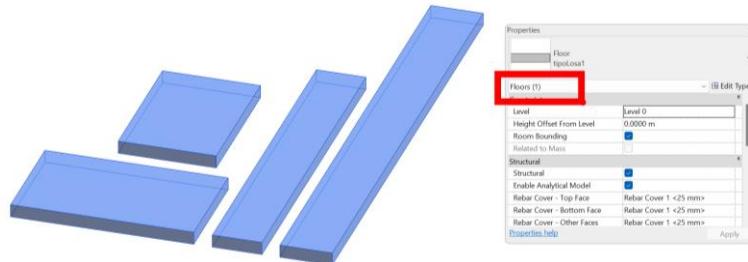


Figura N° 4.38: Error común al modelar losas.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.39, se muestra una buena práctica que se debería de considerar al modelar losas en un proyecto BIM, haciendo uso del software Revit.

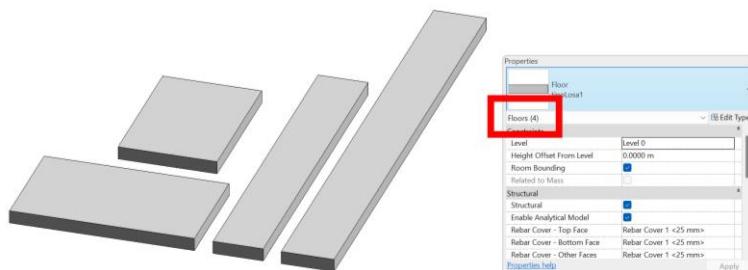


Figura N° 4.39: Buena práctica de modelado de losas

(Fuente: Elaboración propia)

- 6) Se recomienda que la sectorización sea el resultado de un proceso colaborativo y no el resultado de la sectorización realizada por una persona del área de planificación y/o producción.

Las categorías de los elementos estructurales correspondientes al casco estructural tienen diferente nivel de referencia, por lo que se procede a crear un parámetro en “común y/o

compartido” de tal manera que facilite su gestión. Este parámetro tipo texto se recomienda llamarlo “PISO” tipo “Text. Véase la siguiente Figura 4.40.

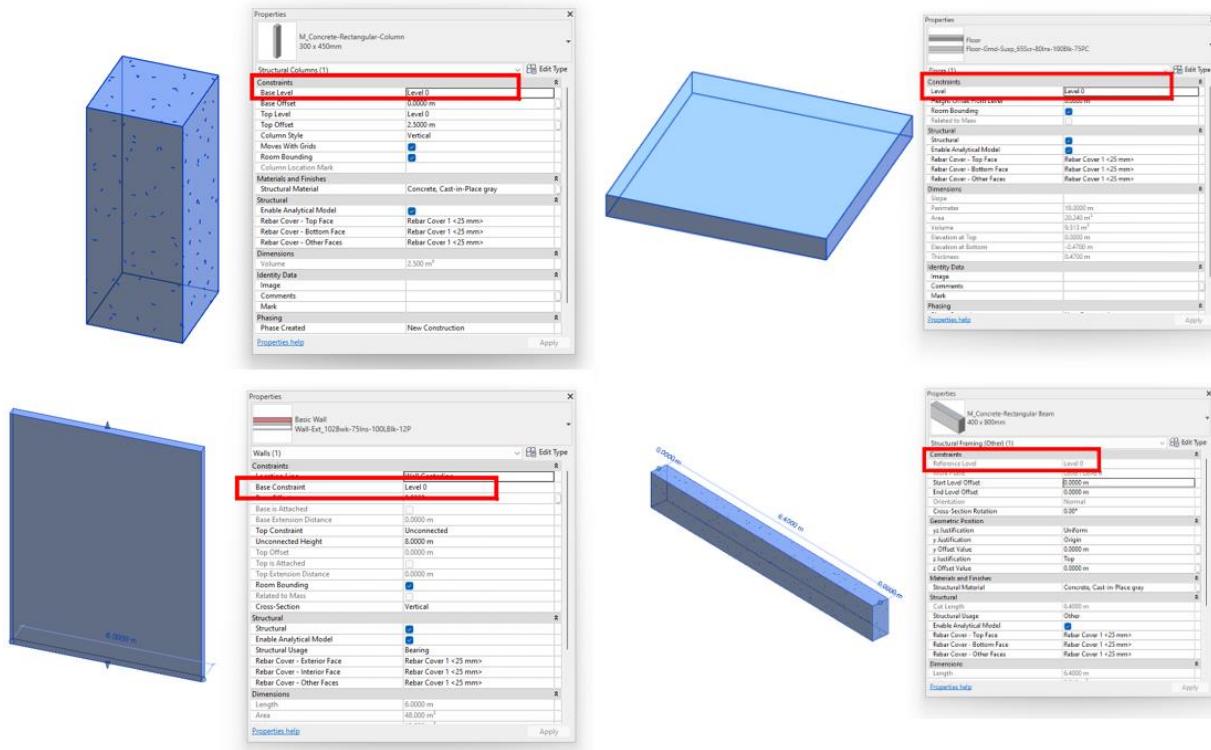


Figura N° 4.40: Elementos del casco estructural referenciadas con un parámetro diferente  
(Fuente: Elaboración propia)

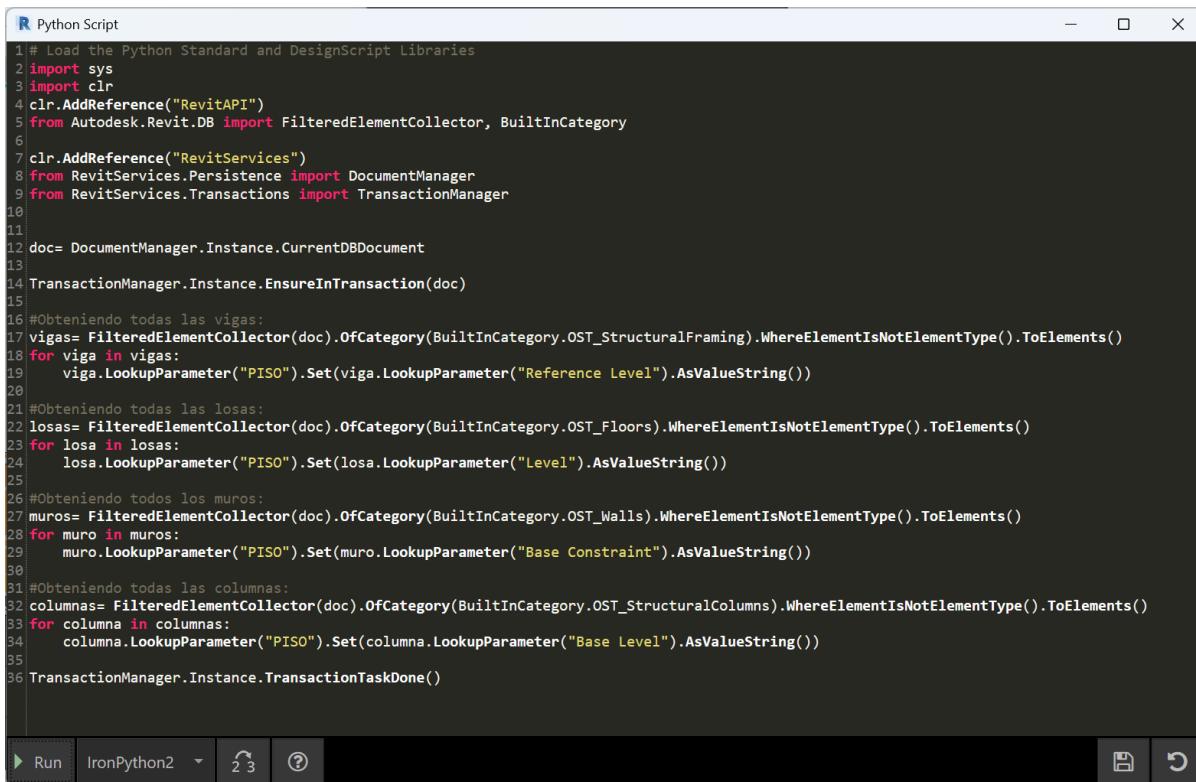
En la siguiente Figura 4.41, se muestra el uso de un parámetro compartido “PISO”, de uso común para las diferentes categorías más usadas en un modelo BIM dentro del software de Revit.

Categoría	Parámetro Nivel de Referencia	Parámetro compartido
Structural Framing	Reference Level	PISO
Floors	Level	
Walls	Base Constraint	
Structural Columns	Base Level	

Figura N° 4.41: Parámetro compartido “PISO”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.42, se muestra el procedimiento automatizado tanto en el lenguaje de Python como en C#. Para su realización en Python, se hizo uso del Dynamic Link Library “RevitServices” para importar la clase DocumentManager y TransactionManager del namespace RevitServices.Persistence y RevitServices.Transaction respectivamente. También se hizo uso del Dynamic Link Library “RevitAPI” para importar la clase FilteredElementCollector y el enumeration BuiltInCategory, ambos correspondientes al namespace Autodesk.Revit.DB.



```

Python Script
1# Load the Python Standard and DesignScript Libraries
2import sys
3import clr
4clr.AddReference("RevitAPI")
5from Autodesk.Revit.DB import FilteredElementCollector, BuiltInCategory
6
7clr.AddReference("RevitServices")
8from RevitServices.Persistence import DocumentManager
9from RevitServices.Transactions import TransactionManager
10
11
12doc= DocumentManager.Instance.CurrentDBDocument
13
14TransactionManager.Instance.EnsureInTransaction(doc)
15
16#Obteniendo todas las vigas:
17vugas= FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralFraming).WhereElementIsNotElementType().ToElements()
18for viga in vugas:
19    viga.LookupParameter("PISO").Set(viga.LookupParameter("Reference Level").AsValueString())
20
21#Obteniendo todas las losas:
22losas= FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_Floors).WhereElementIsNotElementType().ToElements()
23for losa in losas:
24    losa.LookupParameter("PISO").Set(losa.LookupParameter("Level").AsValueString())
25
26#Obteniendo todos los muros:
27muros= FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_Walls).WhereElementIsNotElementType().ToElements()
28for muro in muros:
29    muro.LookupParameter("PISO").Set(muro.LookupParameter("Base Constraint").AsValueString())
30
31#Obteniendo todas las columnas:
32columnas= FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralColumns).WhereElementIsNotElementType().ToElements()
33for columna in columnas:
34    columna.LookupParameter("PISO").Set(columna.LookupParameter("Base Level").AsValueString())
35
36TransactionManager.Instance.TransactionTaskDone()

```

Figura N° 4.42: Programación realizada en Python

(Fuente: Elaboración propia)

Para la automatización haciendo uso del lenguaje de programación C#, se hizo uso de la clase FilteredElementCollector y el enumeration BuiltInCategory, ambos correspondientes al namespace Autodesk.Revit.DB. FilteredElementCollector es una clase que permite hacer un filtrado, búsqueda e iteración a un conjunto de elementos. En la Figura 4.43, se muestra una codificación más resumida haciendo uso del llamado de otro método.

```
public void PisosAntonyCamposVega(){
    //Codificación realizada por: ANTONY JUAN CAMPOS VEGA
    UIDocument uidoc= this.ActiveUIDocument;
    Document doc= uidoc.Document;

    List<Element> losas= new FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_Floors)
        .WhereElementIsNotElementType().ToList();

    List<Element> vigas= new FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralFraming)
        .WhereElementIsNotElementType().ToList();

    List<Element> columnas= new FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralColumns)
        .WhereElementIsNotElementType().ToList();

    List<Element> muros= new FilteredElementCollector(doc).OfCategory(BuiltInCategory.OST_Walls)
        .WhereElementIsNotElementType().ToList();

    using (Transaction tran= new Transaction(doc,"ANTONY CAMPOS VEGA") ) {
        tran.Start();
        foreach (Element losa in losas) {
            losa.LookupParameter("PISO").Set( losa.LookupParameter("Level").AsValueString() );
        }
        foreach (Element viga in vigas) {
            viga.LookupParameter("PISO").Set( viga.LookupParameter("Reference Level").AsValueString() );
        }
        foreach (Element columna in columnas) {
            columna.LookupParameter("PISO").Set( columna.LookupParameter("Base Level").AsValueString() );
        }
        foreach (Element muro in muros) {
            muro.LookupParameter("PISO").Set( muro.LookupParameter("Base Constraint").AsValueString() );
        }
        tran.Commit();
    }
    TaskDialog.Show("Título","Listo ANTONY JUAN CAMPOS VEGA");
    //FIN MÉTODO
}
```

Figura N° 4.43: Programación realizada en el lenguaje de programación C#

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.44, se muestra una simplificación de la automatización haciendo uso de métodos.

```
public void PisosAntonyCamposVega2(){

    UIDocument uidoc= this.ActiveUIDocument;
    Document doc= uidoc.Document;

    using (Transaction tran= new Transaction(doc, "POL")) {
        tran.Start();
        metodo1(doc, BuiltInCategory.OST_StructuralFraming, "Reference Level");
        metodo1(doc, BuiltInCategory.OST_Floors, "Level");
        metodo1(doc, BuiltInCategory.OST_Walls, "Base Constraint");
        metodo1(doc, BuiltInCategory.OST_StructuralColumns, "Base Level");
        tran.Commit();
    }
    TaskDialog.Show("Título", "Listo ANTONY JUAN CAMPOS VEGA");
    //FIN MÉTODO ANTONY JUAN CAMPOS VEGA
}

public void metodo1(Document doc,BuiltInCategory bt, string s){

    List<Element> elementos= new FilteredElementCollector(doc).OfCategory(bt)
        .WhereElementIsNotElementType().ToList();

    foreach (Element elemento in elementos) {
        elemento.LookupParameter("PISO").Set( elemento.LookupParameter(s).AsValueString());
    }
    //FIN MÉTODO ANTONY JUAN CAMPOS VEGA
}
```

Figura N° 4.44: Simplificación de la programación

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.6 Aplicativo CI6: “Automatización encofrados zapatas”

Nombre del aplicativo: APPLICATIVO CI6 - “Automatización encofrados zapatas”

Problema a resolver:

Revit es uno de los softwares más usados en el mundo de la metodología BIM. Como todo software, tiene algunas deficiencias en la ausencia de aplicativos para proyectos específicos. Este es el caso de los encofrados, ya que Revit no tiene un “PushButton” (nombre en términos de programación a lo que se le conoce como “botón”) que, de manera automatizada, no

solamente de como resultado el metrado del encofrado, sino también que lo modele en su totalidad.

¿Qué es lo que se viene realizando normalmente?

Lo que usualmente se realiza, es seleccionar cada elemento estructural de concreto dentro del modelo BIM y modelar alrededor de cada cara del elemento un encofrado con la opción “Wall”, es decir, el encofrado se modela como una capa. Hacer esto en un proyecto de gran complejidad es una tarea muy repetitiva, eso sin contar la información que se le debe de introducir al encofrado de la columna a la cual corresponde, como por ejemplo, al piso al cual pertenece el encofrado, el ID de su columna correspondiente, m2 de encofrado, sector, etc.

Descripción:

¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone usar herramientas de programación orientada a objetos a través de la Revit API con lenguaje C#, en la cual, haciendo uso de la clase “new FilteredElementCollector” que se encarga de filtrar, buscar e iterar elemento (zapatas, columnas, vigas, losas) por elemento e introducirles las propiedades geométricas de sus tipos correspondiente (tipo columna cuadrada, en forma de “L”, “T”, “U”, rectangular) y poder dibujar a través de las “Transacciones” (cualquier tipo de modificación dentro de la interfaz de Revit) una categoría tipo “Walls” que asemeje el modelado del encofrado y automáticamente introducirle al encofrado cualquier tipo de información que el equipo de proyecto, considere viable para mejorar la gestión, ejecución y control del proyecto.

Alcances:

- 1) Aplicable a zapatas con cualquier tipo de geometría.
- 2) Aplicable a zapatas corridas, zapatas con cabezales.

- 
- 3) Aplicable a cualquier versión de Revit.

Inputs requeridos:

- 1) Tener modelado las zapatas.
- 2) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Foundations, Walls).
- 3) Crear un parámetro tipo integer "SECTOR" cuyo CategorySet (Structural Foundations).
- 4) Crear un tipo de muro (categoría "Walls") con el nombre "tipoEncofrado1". No es necesario instanciar un objeto para luego crear el tipo.
- 5) Crear un parámetro tipo texto "FUNCION" cuyo CategorySet (Walls). La programación a todos los "Walls" que harán el papel de encofrados les pondrá el valor de: "ENCOFRADO Foundations".
- 6) Crear un parámetro tipo integer "IDhost" cuyo CategorySet (Walls).
- 7) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Foundations, Walls).

Limitaciones:

- 1) No posee limitaciones. Cualquier otra información de parámetros se puede ingresar en la programación sin ningún problema.
- 2) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.9, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CI-6.

Tabla N° 4.9: Procesos de ejecución aplicativo CI-6

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.51: Abra el modelado de sus zapatas en cualquier versión de Revit.
Paso 2	Figura 3.52: Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Foundations, Walls).
Paso 3	Figura 3.53: Crear un parámetro tipo integer "SECTOR" cuyo CategorySet (Structural Foundations).
Paso 4	Figura 3.54: Crear un tipo de muro con el nombre "tipoEncofrado1". Ponerle un grosor de 0.04. No es necesario instanciar un objeto para luego crear el tipo.
Paso 5	Figura 3.55: Al tipo de muro que se generó en el paso anterior, agregarle un material a gusto del usuario.
Paso 6	Figura 3.56: Crear un parámetro tipo texto "FUNCION" cuyo CategorySet (Walls). La programación a todos los "Walls" que harán el papel de encofrados les pondrá el valor de: "ENCOFRADO Foundations".
Paso 7	Figura 3.57: Crear un parámetro tipo integer "IDhost" cuyo CategorySet (Walls).
Paso 8	Figura 3.58: Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Foundations, Walls).
Paso 9	Figura 3.59: Ejecución del aplicativo "CI-5".
Paso 10	Figura 3.60: Resultado automatización ejemplo 1.
Paso 11	Figura 3.61: Resultado automatización ejemplo 2.
Paso 12	Figura 3.62: Resultado automatización ejemplo 3.
Paso 13	Figura 3.63: Opción exportar información a Excel. Cualquier otra información que se crea conveniente considerarla es programable en los aplicativos.

Ejecución paso a paso del aplicativo APlicativo CI6 - “Automatización encofrados zapatas”

Se procede abrir el modelo BIM de las zapatas en cualquier versión de Revit. Véase la Figura 4.45.

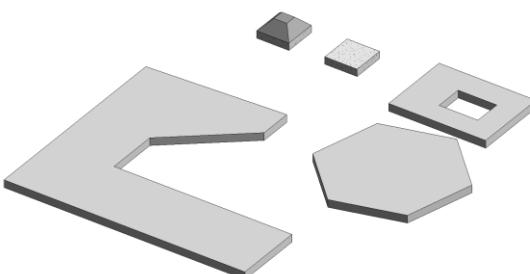


Figura N° 4.45: Modelo de las zapatas en Revit

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.46, se muestra la creación de parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Foundations, Walls).

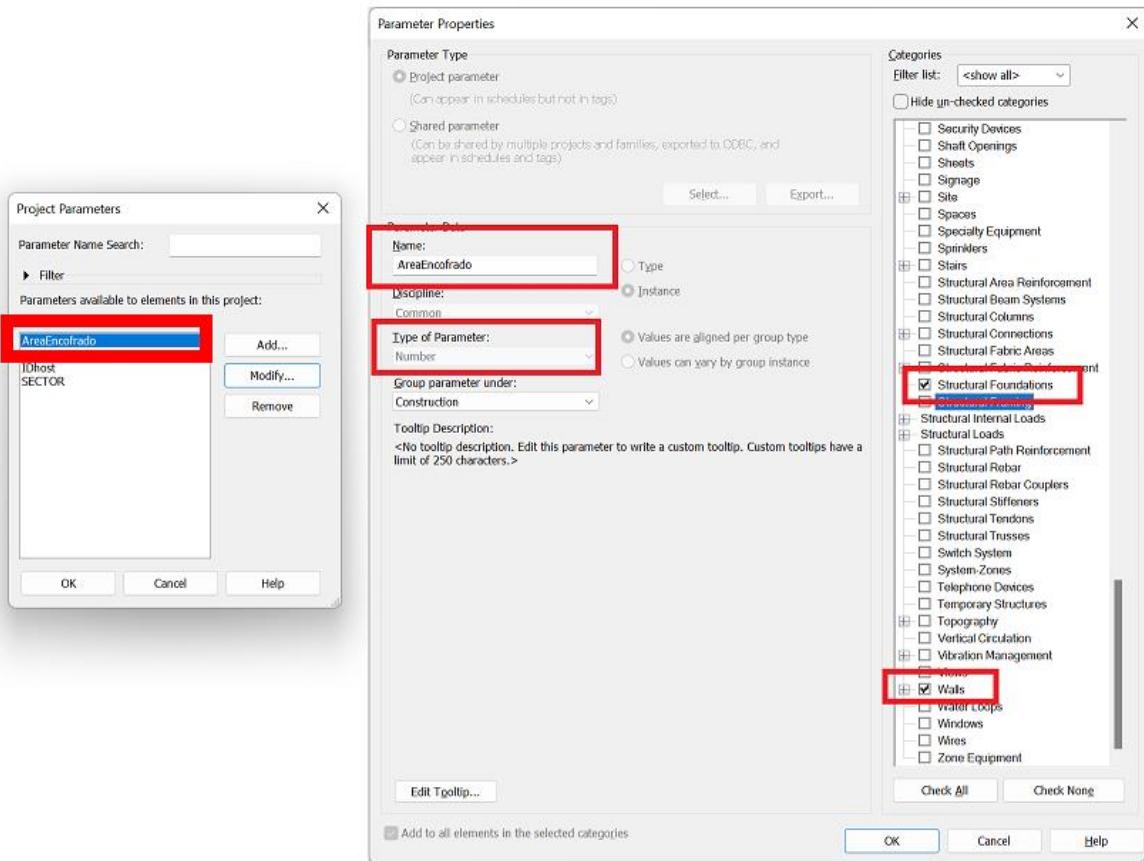


Figura N° 4.46: Creación de parámetro “AreaEncofrado” en el software de Revit.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.47, se muestra la creación de un parámetro tipo integer "SECTOR" cuyo CategorySet (Structural Foundations).

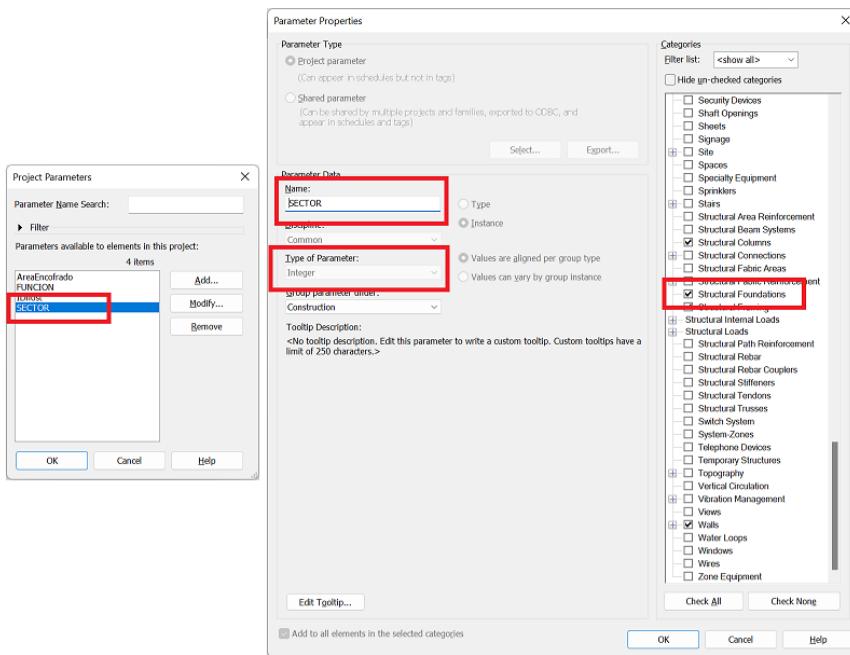


Figura N° 4.47: Creación de un parámetro “SECTOR” en el software Revit.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.48, se muestra la creación de un tipo de muro con el nombre "tipoEncofrado1". Ponerle un grosor de 0.04

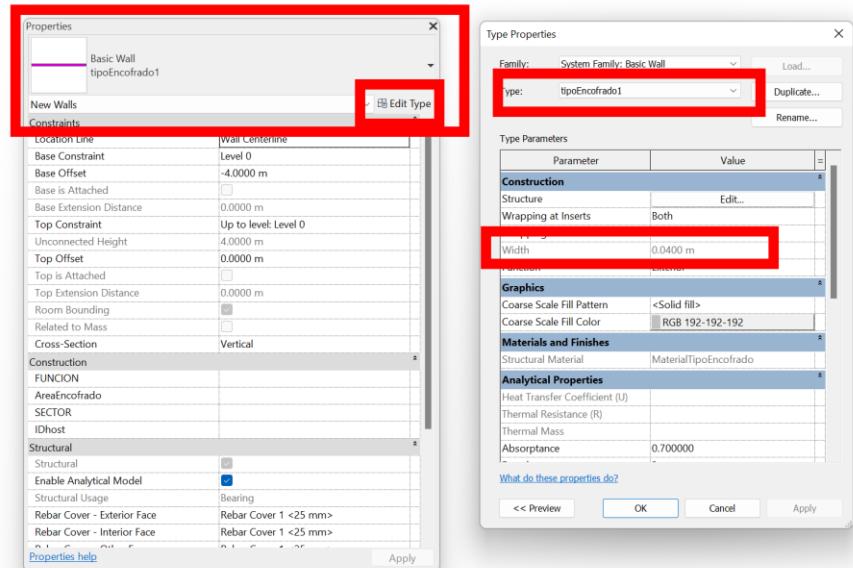


Figura N° 4.48: Creación de un tipo de muro con el nombre "tipoEncofrado1".

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.49, se muestra la asignación de materiales a muros.

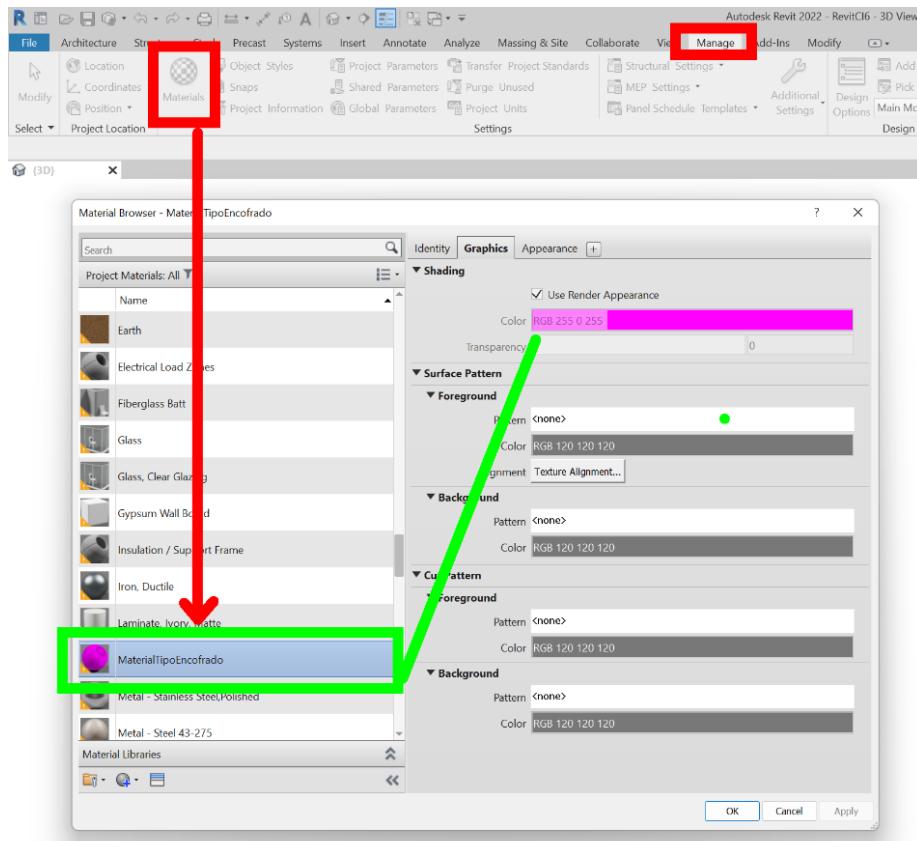


Figura N° 4.49: Asignación de materiales a muros.

(Fuente: Elaboración propia)

Se procede a crear un parámetro tipo texto "FUNCION" cuyo CategorySet son la categoría "Walls". La automatización a todos los "Walls", que harán el papel de encofrados, se les pondrá el valor de: "ENCOFRADO Foundations".

En la siguiente Figura 4.50, muestra la creación de un parámetro tipo texto "FUNCIÓN" en el software de Revit.

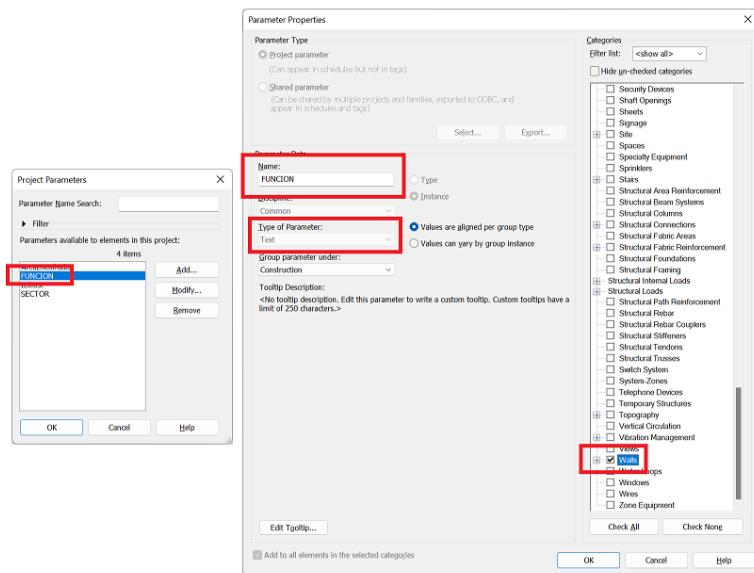


Figura N° 4.50: Creación del parámetro tipo texto “FUNCIÓN”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.51, se muestra la Creación del parámetro tipo integer "IDhost" cuyo CategorySet (Walls) en el software de Revit.

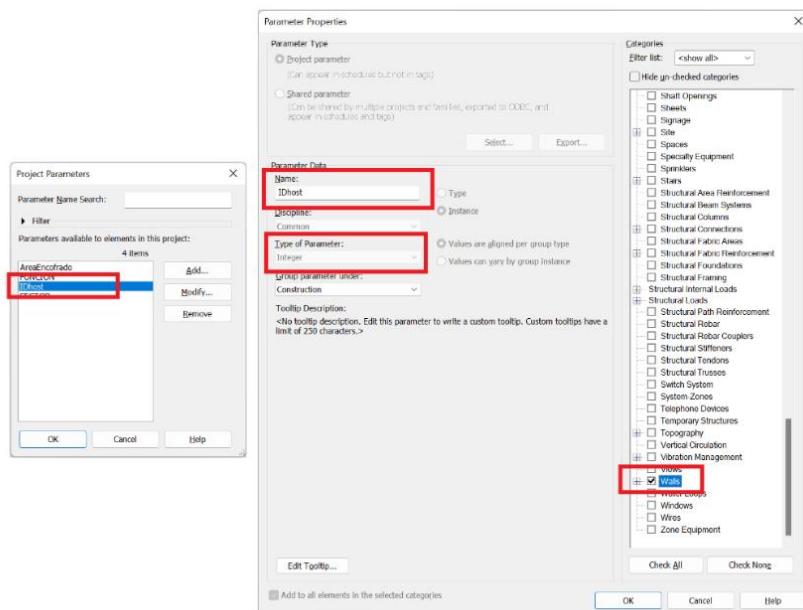


Figura N° 4.51: Creación del parámetro "IDhost".

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.52, se muestra la creación del parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Foundations, Walls) en el software de Revit.

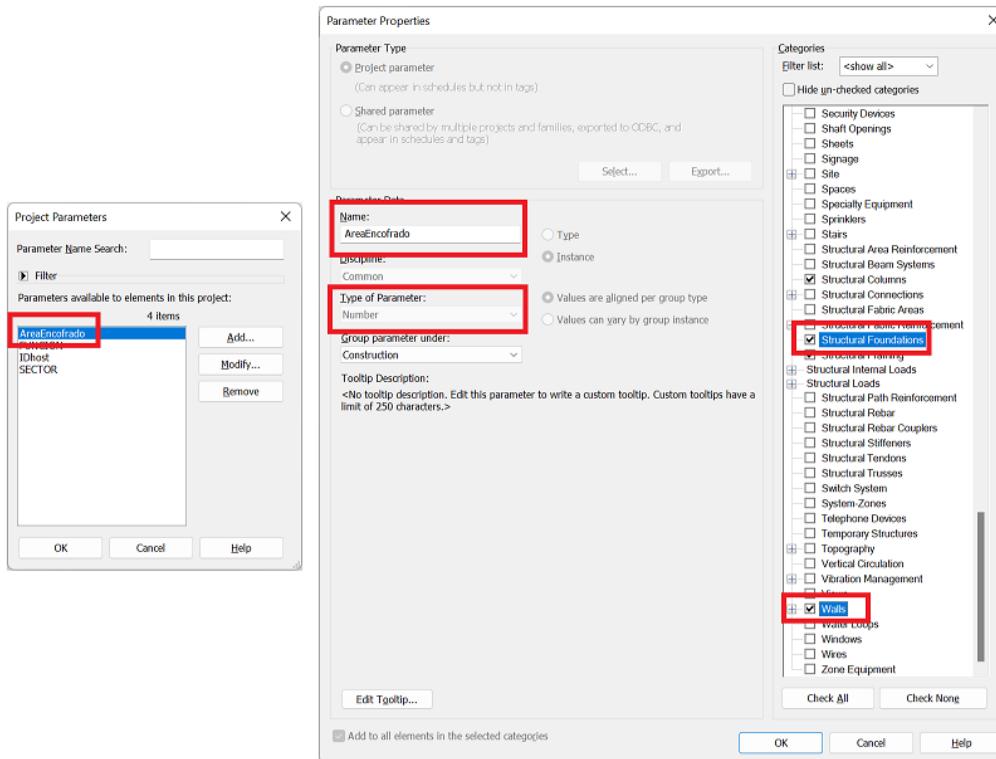


Figura N° 4.52: Creación del parámetro "AreaEncofrado".

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.53, se muestra la ejecución del aplicativo “Automatización encofrados zapatas”.



Figura N° 4.53: Ejecución del aplicativo “Automatización encofrados zapatas”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.54, se muestra el resultado de la automatización como ejemplo 1.

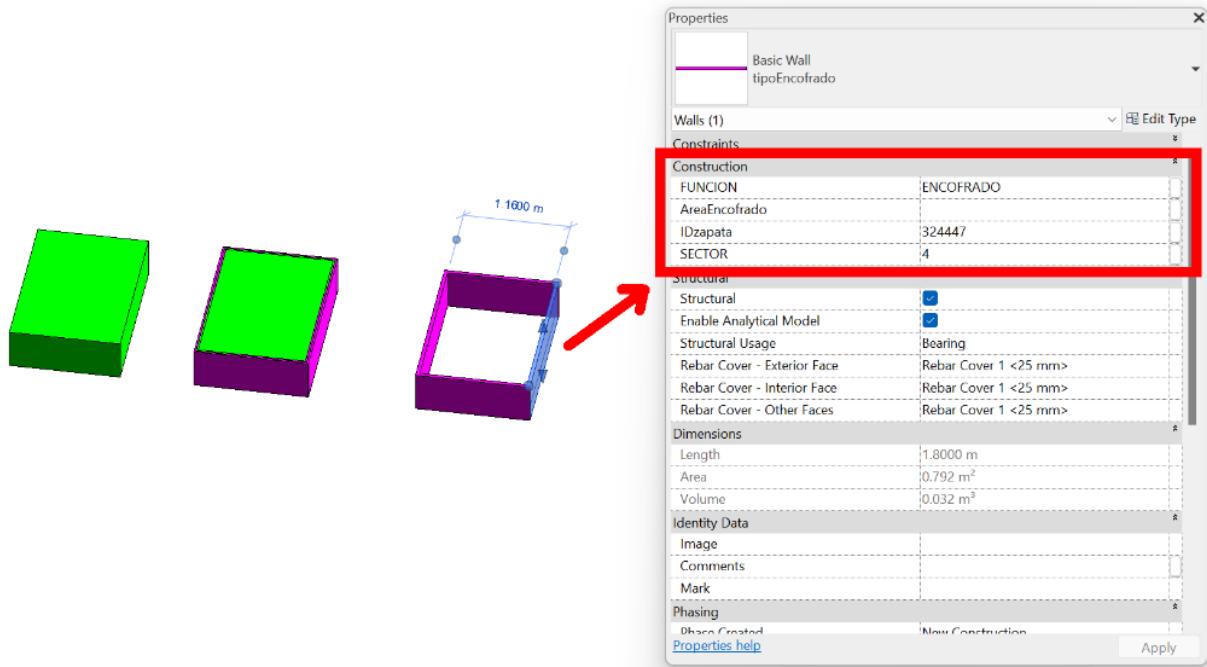


Figura N° 4.54: Resultado automatización ejemplo 1.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.55, se muestra el resultado de la automatización aplicada a un ejemplo 2, aplicable a zapata con cabezales.

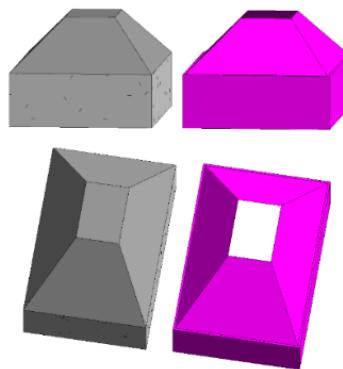


Figura N° 4.55: Resultado automatización ejemplo 2.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.56, se muestra el resultado de la automatización aplicado a un ejemplo

3.

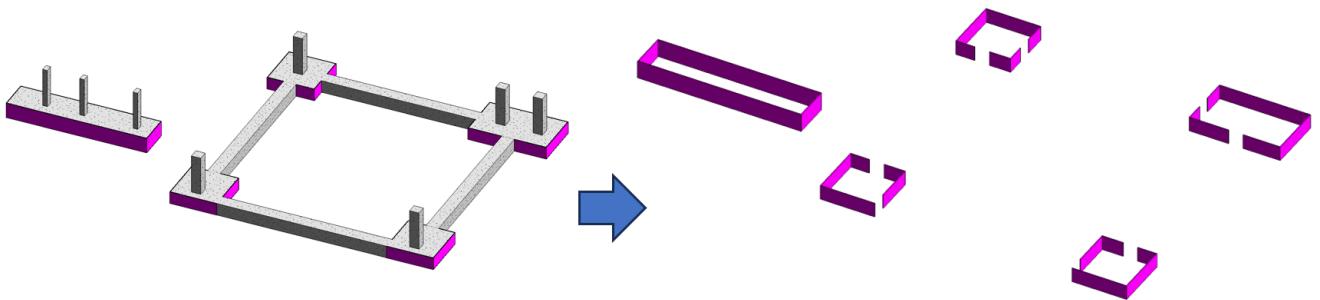


Figura N° 4.56: Resultado automatización ejemplo 3

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.57, se muestra que la automatización incluye la opción de exportar

la información a Excel.

ID	CATEGORÍA	SECTOR	NIVEL	ÁREA (m2)
2601407	Structural Foundations	4	Level 0	0.6
2601409	Structural Foundations	3	Level 0	0.9
2601431	Structural Foundations	4	Level 0	0.6
2601433	Structural Foundations	2	Level 0	0.9
2601561	Structural Foundations	1	Level 0	0.6
2601563	Structural Foundations	2	Level 0	0.6
2601576	Structural Foundations	4	Level 0	0.6
2601578	Structural Foundations	3	Level 0	0.9
2601587	Structural Foundations	1	Level 0	0.9
2601589	Structural Foundations	4	Level 0	0.6
2601592	Structural Foundations	4	Level 0	0.6
2601594	Structural Foundations	3	Level 0	0.9
2601659	Structural Foundations	4	Level 0	0.9
2601661	Structural Foundations	4	Level 0	0.9
2601672	Structural Foundations	1	Level 0	0.6
2601674	Structural Foundations	3	Level 0	0.6
2601677	Structural Foundations	3	Level 0	0.9
2601679	Structural Foundations	1	Level 0	0.9
2604718	Structural Foundations	2	Level 0	0.6
2604733	Structural Foundations	4	Level 0	0.9
2604889	Structural Foundations	4	Level 0	0.6
2604892	Structural Foundations	3	Level 0	0.9
2604938	Structural Foundations	1	Level 0	0.9
2605180	Structural Foundations	4	Level 0	0.6
2605183	Structural Foundations	3	Level 0	0.9
2605186	Structural Foundations	1	Level 0	0.9
2605266	Structural Foundations	3	Level 0	0.6
2606904	Structural Foundations	2	Level 0	0.6
2607150	Structural Foundations	2	Level 0	0.9
2607261	Structural Foundations	4	Level 0	0.9
2607263	Structural Foundations	4	Level 0	0.9
2607417	Structural Foundations	2	Level 0	0.6
2607419	Structural Foundations	2	Level 0	0.6

Figura N° 4.57: Exportación información a Excel

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.7 Aplicativo CI7: “Automatización encofrados columnas”

Nombre del aplicativo: APLICATIVO CI7 - “Automatización encofrados columnas”

##### Problema a resolver:

Revit es uno de los softwares más usados en el mundo de la metodología BIM. Como todo software, tiene algunas deficiencias en la ausencia de aplicativos para proyectos específicos.

Este es el caso de los encofrados, ya que Revit no tiene un “PushButton” (botón) que, de manera automatizada, no solamente de como resultado el metrado del encofrado, sino también que lo modele en su totalidad.

¿Qué es lo que se viene realizando normalmente?

Lo que usualmente se realiza, es seleccionar cada elemento estructural dentro del modelo BIM y modelar alrededor de cada cara del elemento un encofrado con la opción “Wall”, es decir, el encofrado se modela como una capa. Hacer esto en un proyecto es una tarea muy repetitiva, eso sin contar la información que se le debe de introducir al encofrado de la columna a la cual corresponde, como, por ejemplo, al piso al cual pertenece el encofrado, el ID de su columna correspondiente, m2 de encofrado, sector, etc.

Descripción:

¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone usar herramientas de programación orientada a objetos a través de la Revit API con lenguaje C#, en la cual, haciendo uso de la clase “new FilteredElementCollector” que se encarga de filtrar, buscar e iterar elemento (zapatas, columnas, vigas, losas) por elemento e introducir a las propiedades geométricas de sus tipos correspondiente (tipo columna cuadrada, en forma de “L”, “T”, “U”, rectangular) y poder dibujar a través de las “Transacciones” (cualquier tipo de modificación dentro de la interfaz de Revit) una categoría tipo “Walls” que asemeje el modelado del encofrado y automáticamente introducirle al encofrado cualquier tipo de información que el equipo de proyecto, considere viable para mejorar la gestión, ejecución y control del proyecto.

Alcances:

- 1) Aplicable a cualquier versión de Revit.
- 2) Aplicable para columnas rectangulares y placas en forma de “L”, “T”, “U”.
- 3) Aplicable también para cualquier tipo de columnas inclinadas.
- 4) Aplicable también para elementos de categoría “Walls”.

Inputs requeridos:

- 1) Tener modelado las columnas.
- 2) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Columns, Walls).
- 3) Crear un parámetro tipo integer "SECTOR" cuyo CategorySet (Structural Columns).
- 4) Crear un tipo de muro con el nombre "tipoEncofrado1". Ponerle un grosor de 0.04. No es necesario instanciar un objeto para luego crear el tipo. Agregarle un material a gusto del usuario.
- 5) Crear un parámetro tipo texto "FUNCION" cuyo CategorySet (Walls). La programación a todos los "Walls" que harán el papel de encofrados les pondrá el valor de: "ENCOFRADO Structural Columns".
- 6) Crear un parámetro tipo integer "IDhost" cuyo CategorySet (Walls).
- 7) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Foundations, Walls).

Limitaciones:

- 1) No aplica a columnas circulares.
- 2) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.10, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CI-7.

Tabla N° 4.10: Procesos de ejecución aplicativo CI-7

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.66: Tener modelado el proyecto de edificación.
Paso 2	Figura 3.67: Ejecución del aplicativo "CI-7".
Paso 3	Figura 3.68: Resultado de la automatización.
Paso 4	Figura 3.69: Ejemplo encofrado placa en forma "L, T, U"

Durante la gestión de información de un proyecto BIM en Revit, se debe de gestionar muchos parámetros del proyecto que deben de ser ingresados manualmente, procedimiento conocido para cualquier modelador básico. Aunque la misma API de Revit aún no contempla dentro de su arquitectura de software la automatización de esta parte (parámetros de proyecto), en el desarrollo de esta tesis de investigación se logró aquello mediante una hoja de Excel con la información de los parámetros respectivos. Esta automatización permite tener en una hoja de Excel los parámetros más repetitivos para proyectos de una misma categoría y poner en ejecución, agilizando más los procesos de gestión de información.

Se decidió automatizar dicha tarea con los parámetros que serán tanto para las categorías “Structural Columns, Floors, Special Equipment, Structural Framing, Walls”. Véase la Figura 4.58.

Tipo	Nombre	CATEGORÍA					
		Floors	Special Equipment	Structural Columns	Structural Framing	Walls	
Text	PISO	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
Int	SECTOR	Sí		Sí	Sí	Sí	
Text	PISO/SECTOR	Sí		Sí	Sí	Sí	
Text	IDhost		Sí				
Text	Encofrado		Sí	Sí			
Text	AreaEncofrado		Sí				
Number	AreaTotalEncofrado	Sí		Sí	Sí	Sí	

Figura N° 4.58: Nombres de los parámetros asociados a categorías respectivas

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.59, se muestra la automatización de la creación de “parámetros de proyecto” en el software BIM de Revit.

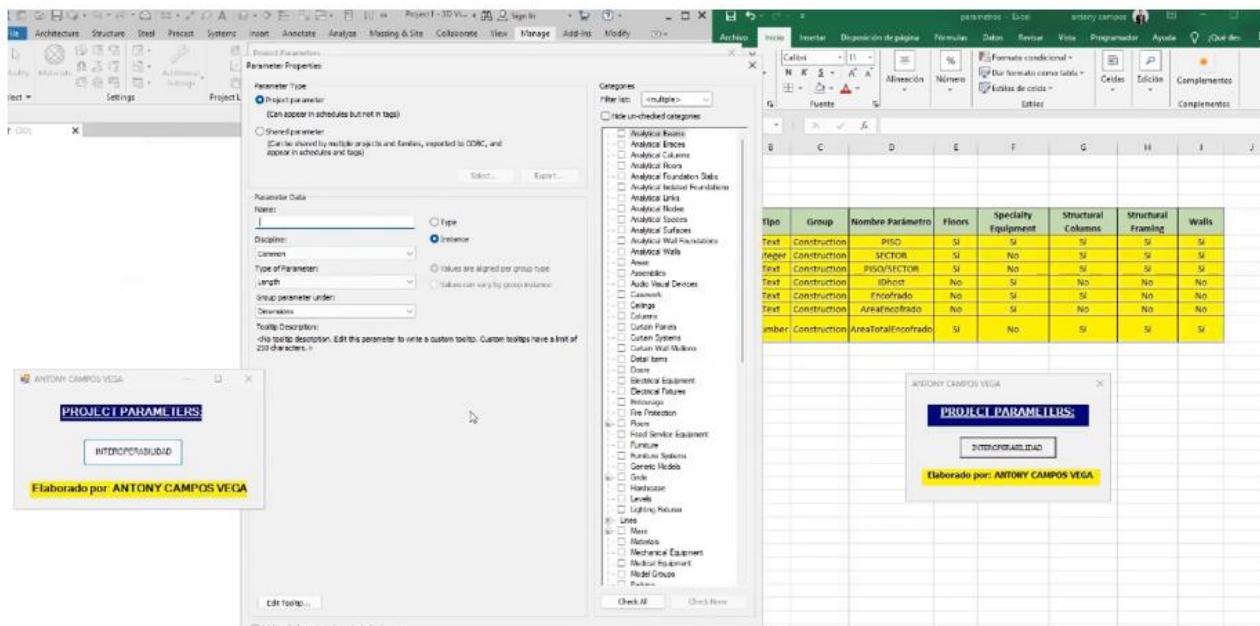


Figura N° 4.59: Automatización de la creación de “parámetros de proyecto” en Revit

(Fuente: Elaboración propia)

Ejecución paso a paso del aplicativo APPLICATIVO CI7 - “Automatización encofrados columnas”

Se procede a abrir el proyecto del modelado BIM de estructuras. Dicho modelado se realizó haciendo uso de las automatizaciones de modelado descritas en esta investigación. Véase la Figura 4.60.

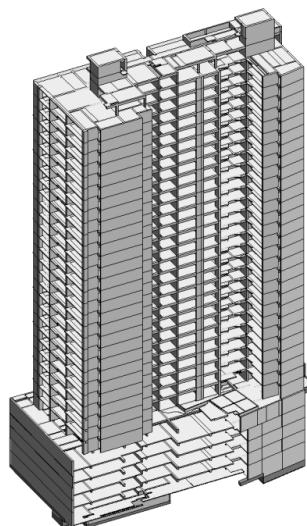


Figura N° 4.60: Modelado del proyecto de edificación

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.61, se muestra la ejecución del aplicativo “Automatización encofrado columnas”.



Figura N° 4.61: Ejecución del aplicativo “Automatización encofrados columnas”

(Fuente: Elaboración propia)

La automatización del modelado de encofrado logra introducir información relacionada a los parámetros del proyecto creados de manera automatizada, como, por ejemplo, el piso al que pertenece el encofrado, IDhost, AreaEncofrado. Véase Figura 4.62.

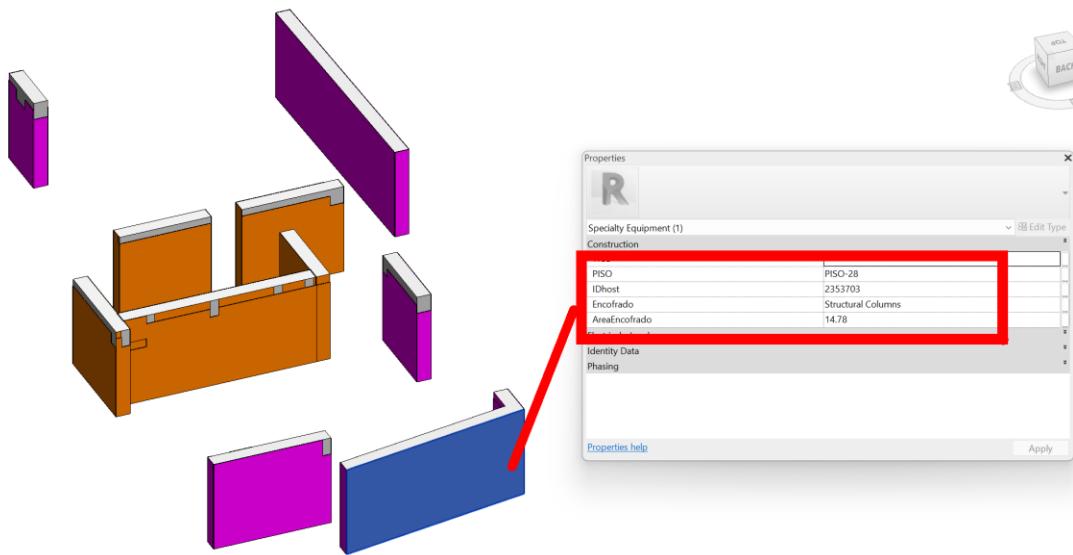


Figura N° 4.62: Resultados de la automatización

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.63, se muestra el encofrado de placas en forma de “T”, “U”, “L” colocadas a diferentes niveles en el software BIM de Revit.

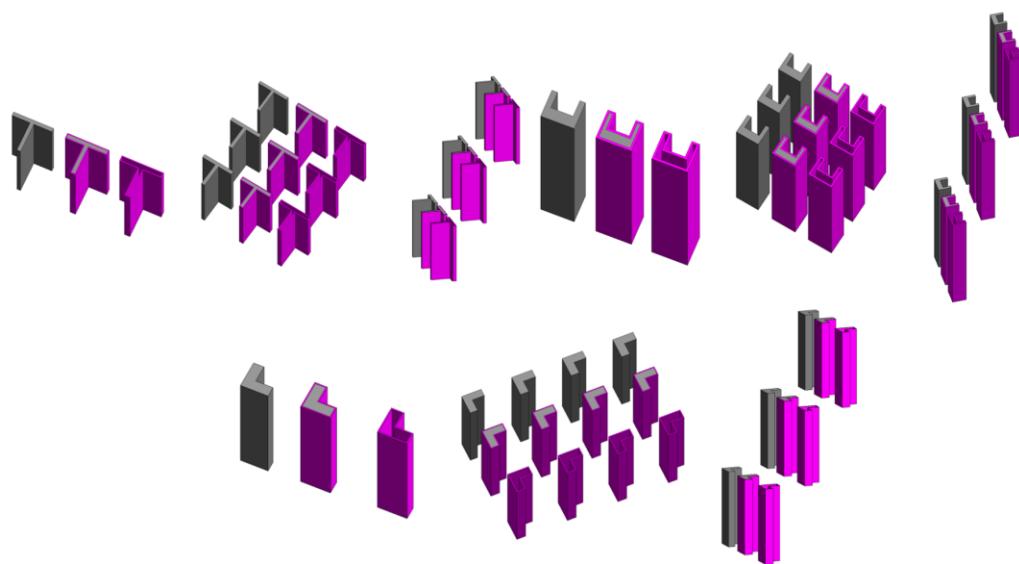


Figura N° 4.63: Encofrado de placas con diferente forma.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.64, se muestra que el aplicativo también logra descontar el área de encofrado resultante de la intersección de columna-viga, columna-losa como se muestra a continuación.

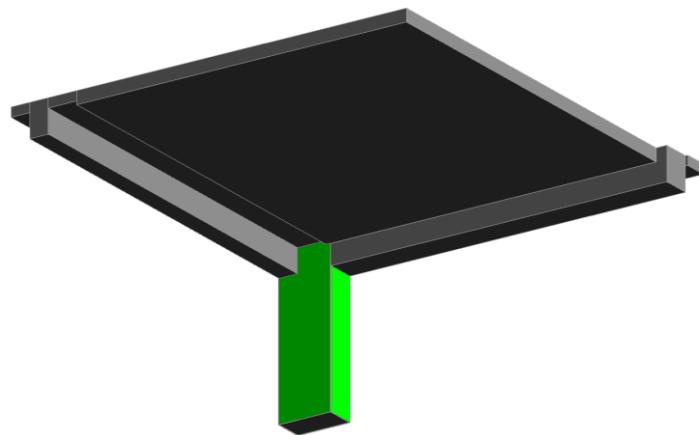


Figura N° 4.64: Automatización modelado encofrado descontando encuentros

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.65, se muestra la introducción de la información automática del encofrado modelado en el software BIM de Revit.

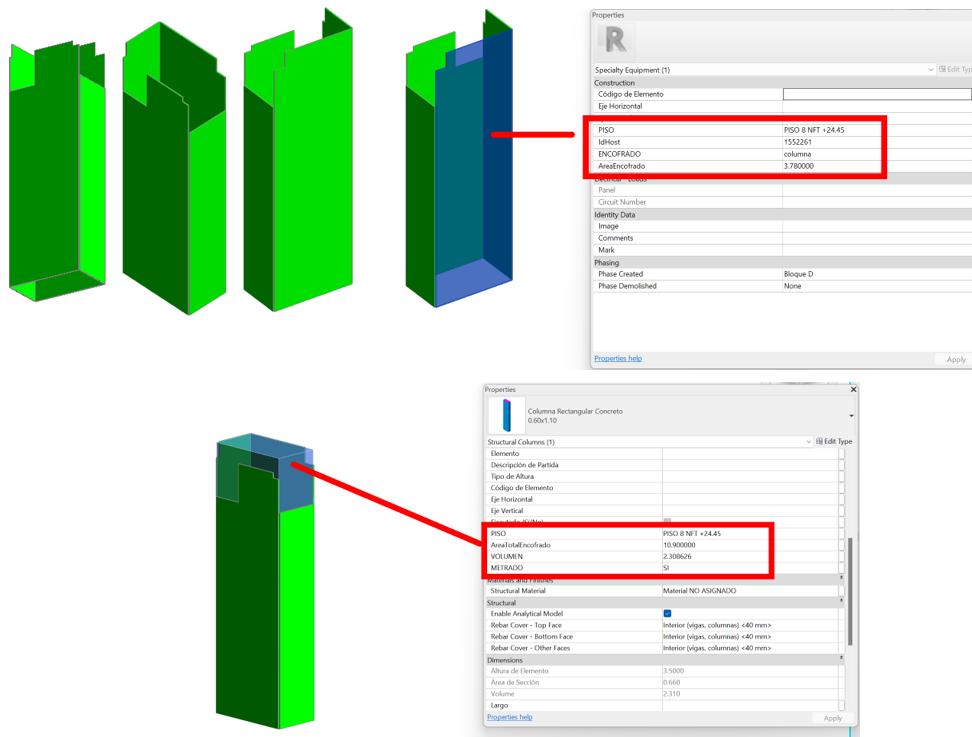


Figura N° 4.65: Introducción de información automática del encofrado.

(Fuente: Elaboración propia)

La automatización del modelado de encofrado para los elementos estructurales columnas y a diferentes niveles, se lleva a cabo mediante la clase “FilteredElementCollector” que permite filtrar, buscar e iterar a través del conjunto de columnas instanciadas en el proyecto. Véase la Figura 4.66.

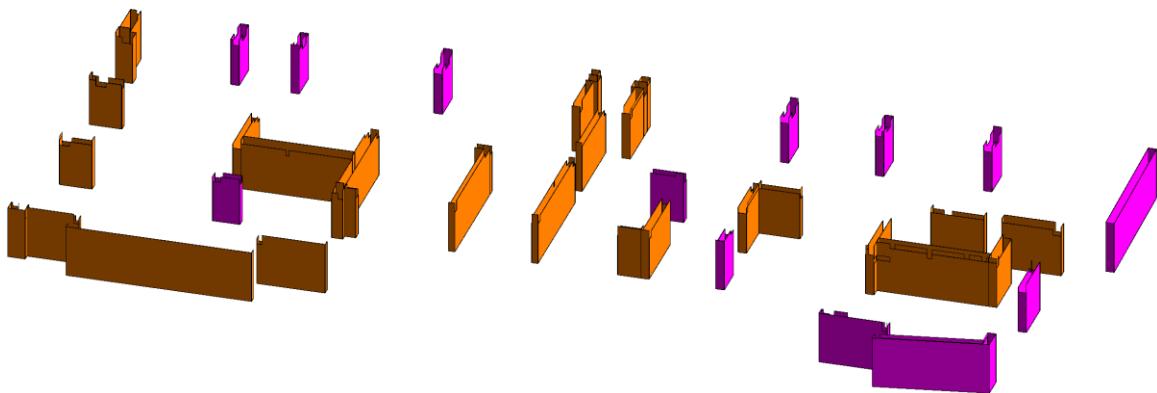


Figura N° 4.66: Automatización modelado encofrado para “Structural Columns, Walls”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.67, se muestra que la automatización también tiene el alcance de poder modelar encofrados con inclinación.

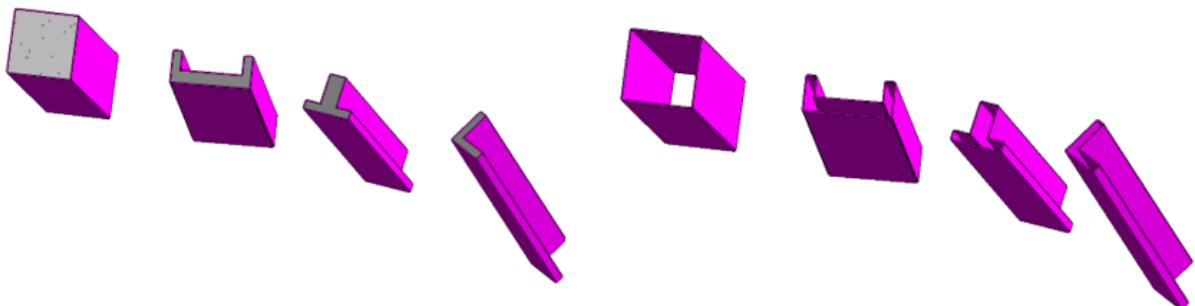


Figura N° 4.67: Encofrado de columnas inclinadas

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.8 Aplicativo CI8: “Automatización encofrados vigas”

Nombre del aplicativo: APPLICATIVO CI8 - “Automatización encofrados vigas”

##### Problema a resolver:

Revit es uno de los softwares más usados en la metodología BIM. Como todo software, tiene algunas deficiencias en la ausencia de aplicativos para proyectos específicos. Este es el caso de los encofrados, ya que Revit no tiene un “PushButton” (botón) que, de manera automatizada, no solamente de como resultado el metrado del encofrado, sino también que lo modele en su totalidad.

¿Qué es lo que se viene realizando normalmente?

Lo que usualmente se realiza, es seleccionar cada elemento estructural dentro del modelo BIM y modelar alrededor de cada cara del elemento un encofrado con la opción “Wall”, es decir, el encofrado se modela como un muro de espesor 5cm. Hacer esto en un proyecto de gran complejidad es una tarea muy repetitiva, eso sin contar la información que se le debe de introducir al encofrado de la columna a la cual corresponde, como por ejemplo, al piso al cual pertenece el encofrado, el ID de su columna correspondiente, m2 de encofrado, sector, etc.

##### Descripción:

¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone usar herramientas de programación orientada a objetos a través de la Revit API con lenguaje C#, en la cual, haciendo uso de la clase “new FilteredElementCollector” que se encarga de filtrar, buscar e iterar elemento (zapatas, columnas, vigas, losas) por elemento e introducir a las propiedades geométricas de sus tipos correspondiente (tipo columna cuadrada, en forma de “L”, “T”, “U”, rectangular) y poder dibujar a través de las “Transacciones” (cualquier tipo de modificación dentro de la interfaz de Revit) una categoría tipo “Walls” que asemeje el

modelado del encofrado y automáticamente introducirle al encofrado cualquier tipo de información que el equipo de proyecto, considere viable para mejorar la gestión, ejecución y control del proyecto.

Alcances:

- 1) Aplicable a cualquier versión de Revit.
- 2) Aplicable a vigas de sección variable.

Inputs requeridos:

- 1) Tener las vigas del modelo.
- 2) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Framing, Walls).
- 3) Crear un parámetro tipo integer "SECTOR" cuyo CategorySet (Structural Framing, Walls).
- 4) Crear un tipo de muro con el nombre "tipoEncofrado1". Ponerle un grosor de 0.04. No es necesario instanciar un objeto para luego crear el tipo. Agregarle un material a gusto del usuario.
- 5) Crear un parámetro tipo texto "FUNCION" cuyo CategorySet (Walls). La programación a todos los "Walls" que harán el papel de encofrados les pondrá el valor de: "ENCOFRADO Structural Framing.
- 6) Crear un parámetro tipo integer "IDhost" cuyo CategorySet (Walls).
- 7) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Framing, Walls).
- 8) Crear un tipo de losa con el nombre "tipoEncofrado2". Ponerle un grosor de 0.04. No es necesario instanciar un objeto para luego crear el tipo. Agregarle un material a gusto del usuario.

- 9) Crear un parámetro tipo texto "FUNCION" cuyo CategorySet (Floors). La programación a todos los "Floors" que harán el papel de encofrados les pondrá el valor de: "ENCOFRADO Structural Framing".
- 10) Crear un parámetro tipo integer "IDhost" cuyo CategorySet (Floors) que serán encofrados fondos de viga.
- 11) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Floors) que serán encofrados fondos de viga.

Limitaciones:

- 1) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.
- 2) No aplica para vigas curvas.

En la siguiente Tabla 4.11, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CI-8.

Tabla N° 4.11: Procesos de ejecución aplicativo CI-8

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.76: Tener modelado el proyecto de edificación.
Paso 2	Figura 3.77: Ejecución del aplicativo "CI-8".
Paso 3	Figura 3.78: Resultado de la automatización.
Paso 4	Figura 3.79: Modelado automatizado de laterales de vigas con losa.
Paso 5	Figura 3.80: Aplicación a una viga de sección variable.

Durante la gestión de información de un proyecto BIM en Revit, se debe de gestionar muchos parámetros del proyecto que deben de ser ingresados manualmente, procedimiento conocido para cualquier modelador básico. Aunque la misma API de Revit aún no contempla dentro de su arquitectura de software la automatización de esta parte (parámetros de proyecto), en el desarrollo de esta tesis de investigación se logró aquello mediante una hoja de Excel con la información de los parámetros respectivos. Esta automatización permite tener en una hoja de

Excel los parámetros más repetitivos para proyectos de una misma categoría y poner en ejecución, agilizando más los procesos de gestión de información.

Se decidió automatizar dicha tarea con los parámetros que serán tanto para las categorías “Structural Columns, Floors, Special Equipment, Structural Framing, Walls”. Véase la Figura 4.68.

Tipo	Nombre	CATEGORÍA					
		Floors	Special Equipment	Structural Columns	Structural Framing	Walls	
Text	PISO	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
Int	SECTOR	Sí		Sí	Sí	Sí	
Text	PISO/SECTOR	Sí		Sí	Sí	Sí	
Text	IDhost		Sí				
Text	Encofrado		Sí	Sí			
Text	AreaEncofrado		Sí				
Number	AreaTotalEncofrado	Sí		Sí	Sí	Sí	

Figura N° 4.68: Nombres de los parámetros asociados a categorías respectivas

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.69, se muestra la automatización de la creación de “parámetros de proyecto” en el software BIM de Revit.

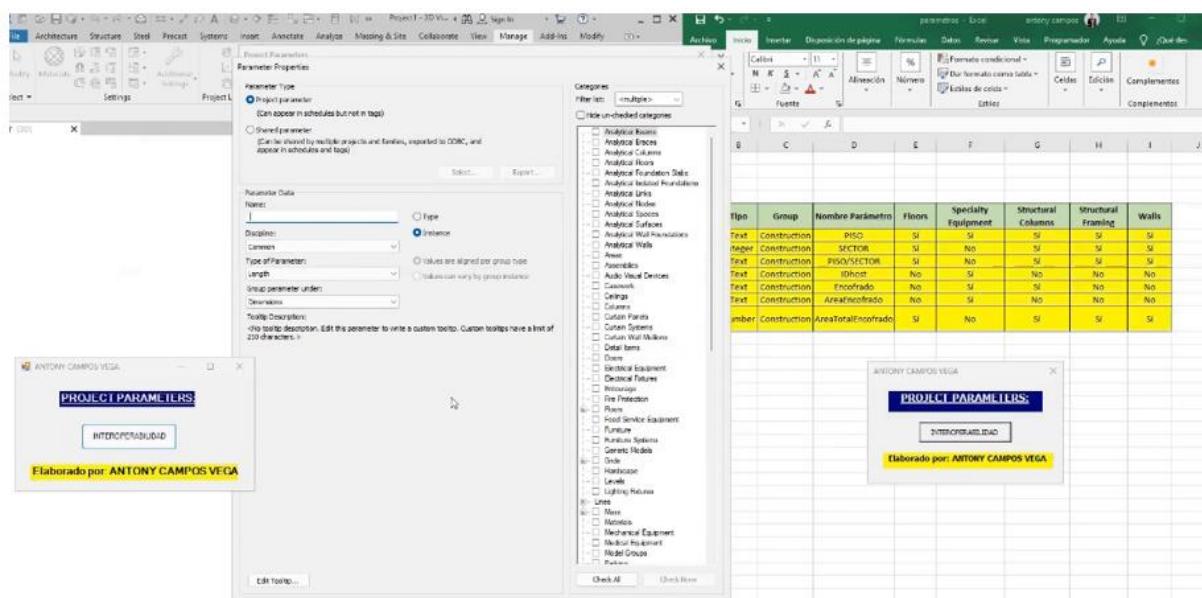


Figura N° 4.69: Automatización de la creación de “parámetros de proyecto” en Revit

(Fuente: Elaboración propia)

Ejecución paso a paso del aplicativo APPLICATIVO CI8 - “Automatización encofrados vigas”

Se procede a abrir el proyecto del modelado BIM. Dicho modelado se realizó haciendo uso de las automatizaciones de modelado descritas en esta investigación. Véase la Figura 4.70.

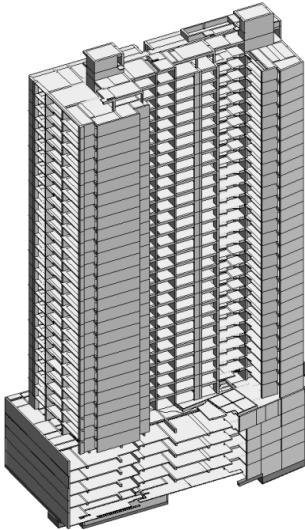


Figura N° 4.70: Modelado del proyecto de edificación

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.71, se muestra la ejecución del aplicativo “Automatización encofrados de vigas”.



Figura N° 4.71: Ejecución del aplicativo “Automatización encofrados vigas”

(Fuente: Elaboración propia)

La automatización del modelado de encofrado logra introducir información relacionada a los parámetros del proyecto creados de manera automatizada, como, por ejemplo, el piso al que pertenece el encofrado, IDhost, AreaEncofrado. Véase la siguiente Figura 4.72.

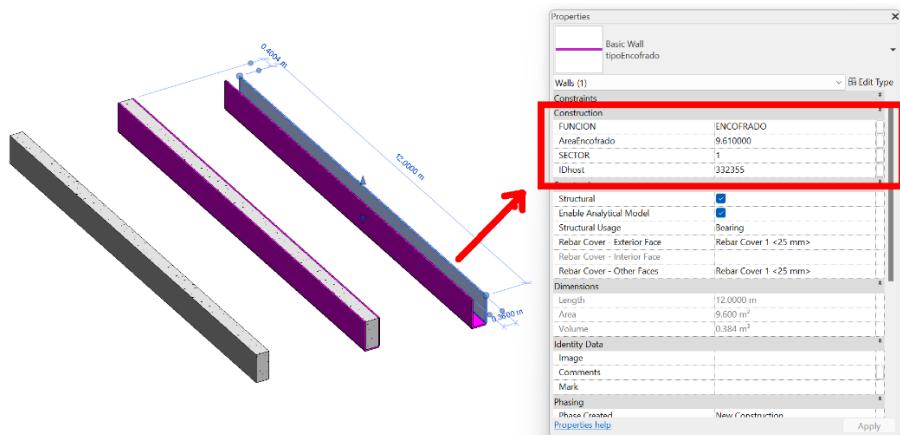


Figura N° 4.72: Resultados de la automatización  
(Fuente: Elaboración propia)

El aplicativo también logra descontar el área de encofrado resultante de la intersección de columna-viga, columna-losa como se muestra a continuación. Véase la siguiente Figura 4.73.

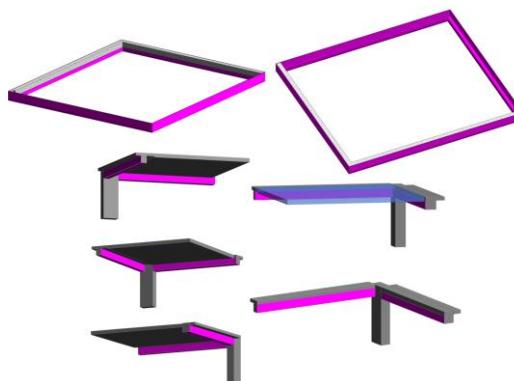


Figura N° 4.73: Modelado automatizado de laterales de vigas con losa, color ‘magenta’  
(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.74 se muestra que la automatización también modela encofrados para vigas de sección variable.

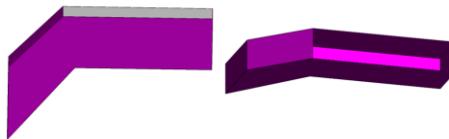


Figura N° 4.74: Encofrado de vigas de sección variable

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.9 Aplicativo CI9: “Automatización encofrados losas”

Nombre del aplicativo: APLICATIVO CI9 - “Automatización encofrados losas”

##### Problema a resolver:

Revit es uno de los softwares más usados en el mundo de la metodología BIM. Como todo software, tiene algunas deficiencias en la ausencia de aplicativos para proyectos específicos. Este es el caso de los encofrados, ya que Revit no tiene un “PushButton” (botón) que, de manera automatizada, no solamente de como resultado el metrado del encofrado, sino también que lo modele en su totalidad.

¿Qué es lo que se viene realizando normalmente?

Lo que usualmente se realiza, es seleccionar cada elemento estructural dentro del modelo BIM y modelar alrededor de cada cara del elemento un encofrado con la opción “Wall”, es decir, el encofrado se modela como un muro de espesor 5cm. Hacer esto en un proyecto de gran complejidad es una tarea muy repetitiva, eso sin contar la información que se le debe de introducir al encofrado de la columna a la cual corresponde, como por ejemplo, al piso al cual pertenece el encofrado, el ID de su columna correspondiente, m2 de encofrado, sector, etc.

##### Descripción:

¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone usar herramientas de programación orientada a objetos a través de la Revit API con lenguaje C#, en la cual, haciendo uso de la clase “new FilteredElementCollector” que se encarga de filtrar, buscar e iterar elemento (zapatas, columnas, vigas, losas) por elemento e introducir a las propiedades geométricas de sus tipos correspondiente (tipo columna cuadrada, en forma de “L”, “T”, “U”, rectangular) y poder dibujar a través de las “Transacciones” (cualquier tipo de modificación dentro de la interfaz de Revit) una categoría tipo “Walls” que asemeje el modelado del encofrado y automáticamente introducirle al encofrado cualquier tipo de información que el equipo de proyecto, considere viable para mejorar la gestión, ejecución y control del proyecto.

Alcances:

- 1) Aplicable a cualquier versión de Revit.
- 2) Aplicable a losas con inclinación.
- 3) Aplicable a losas con geometrías no convencionales.

Inputs requeridos:

- 1) Tener modelado las losas.
- 2) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Floors, Walls).
- 3) Crear un parámetro tipo integer "SECTOR" cuyo CategorySet (Floors)\*
- 4) Crear un tipo de muro con el nombre "tipoEncofrado1". Ponerle un grosor de 0.04. No es necesario instanciar un objeto para luego crear el tipo.
- 5) Crear un parámetro tipo texto "FUNCION" cuyo CategorySet (Walls). La programación a todos los "Walls" que harán el papel de encofrados les pondrá el valor de: "ENCOFRADO Floors".
- 6) Crear un parámetro tipo integer "IDhost" cuyo CategorySet (Walls).

- 7) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Structural Foundations, Walls).
- 8) Crear un tipo de losa con el nombre "tipoEncofrado2". Ponerle un grosor de 0.04. No es necesario instanciar un objeto para luego crear el tipo.
- 9) Crear un parámetro tipo texto "FUNCION" cuyo CategorySet (Walls). La programación a todos los "Walls" que harán el papel de encofrados les pondrá el valor de: "ENCOFRADO Floors".
- 10) Crear un parámetro tipo integer "IDhost" cuyo CategorySet (Floors) que serán encofrados fondos de losa.
- 11) Crear un parámetro tipo number "AreaEncofrado" cuyo CategorySet (Floors) que serán encofrados fondos de losa.

Limitaciones:

- 1) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.12, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CI-9.

Tabla N° 4.12: Procesos de ejecución aplicativo CI-9

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.83: Tener modelado el proyecto de edificación.
Paso 2	Figura 3.84: Ejecución del aplicativo "CI-9".
Paso 3	Figura 3.85: Resultado de la automatización. Encofrado fondo de losa.

Durante la gestión de información de un proyecto BIM en Revit, se debe de gestionar muchos parámetros del proyecto que deben de ser ingresados manualmente, procedimiento conocido para cualquier modelador básico. Aunque la misma API de Revit aún no contempla dentro de su arquitectura de software la automatización de esta parte (parámetros de proyecto), en el desarrollo de esta tesis de investigación se logró aquello mediante una hoja de Excel con la información de los parámetros respectivos. Esta automatización permite tener en una hoja de

Excel los parámetros más repetitivos para proyectos de una misma categoría y poner en ejecución, agilizando más los procesos de gestión de información.

Se decidió automatizar dicha tarea con los parámetros que serán tanto para las categorías “Structural Columns, Floors, Special Equipment, Structural Framing, Walls”. Véase la siguiente Figura 4.75.

Tipo	Nombre	CATEGORÍA					
		Floors	Special Equipment	Structural Columns	Structural Framing	Walls	
Text	PISO	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
Int	SECTOR	Sí		Sí	Sí	Sí	
Text	PISO/SECTOR	Sí		Sí	Sí	Sí	
Text	IDhost		Sí				
Text	Encofrado		Sí	Sí			
Text	AreaEncofrado		Sí				
Number	AreaTotalEncofrado	Sí		Sí	Sí	Sí	

Figura N° 4.75: Nombres de los parámetros asociados a categorías respectivas

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.76 se muestra la automatización de la creación de “parámetros de proyecto” en el software BIM de Revit.

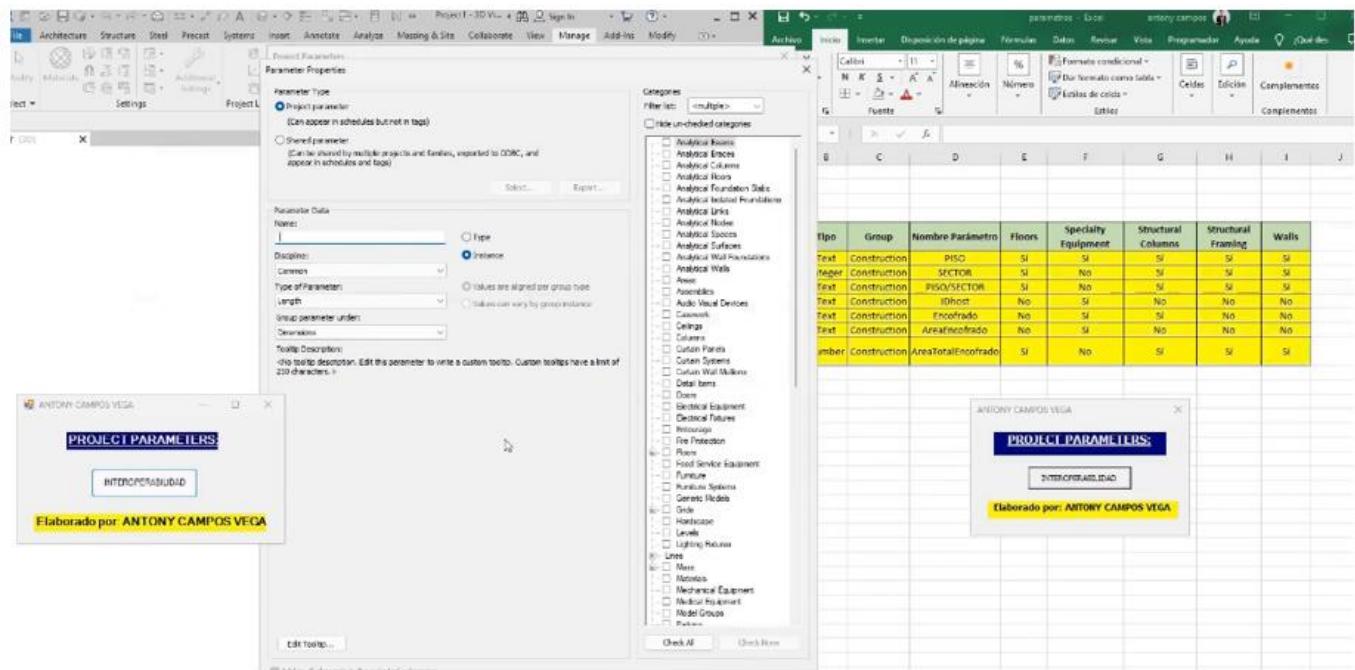


Figura N° 4.76: Automatización de la creación de “parámetros de proyecto” en Revit

(Fuente: Elaboración propia)

#### Ejecución paso a paso del aplicativo APPLICATIVO CI9 – “Automatización encofrados losas”

Se procede a abrir el proyecto del modelado BIM. Dicho modelado se realizó haciendo uso de las automatizaciones de modelado descritas en esta investigación. Véase la siguiente Figura 4.77.

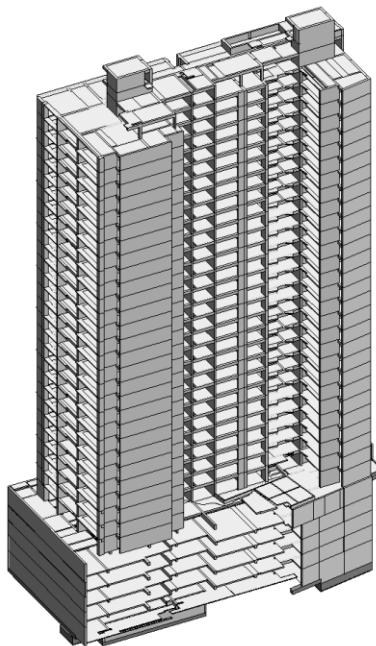


Figura N° 4.77: Modelado del proyecto de edificación  
(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.78 se muestra la ejecución del aplicativo “Automatización encofrado de losas”.



Figura N° 4.78: Ejecución del aplicativo “Automatización encofrados losas”  
(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.79, se muestra los resultados de la automatización.

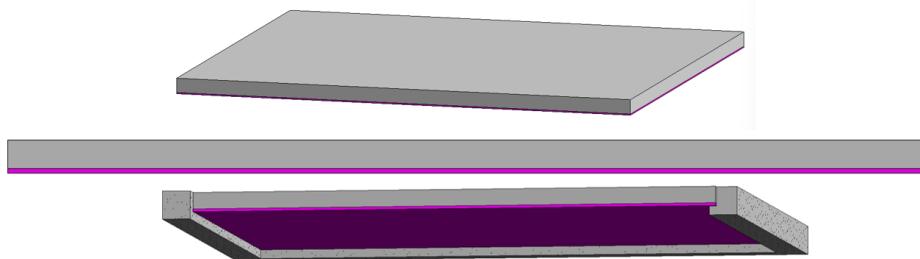


Figura N° 4.79: Resultados de la automatización

(Fuente: Elaboración propia)

La automatización del modelado de encofrado logra introducir información relacionada a los parámetros del proyecto creados de manera automatizada, como, por ejemplo, el piso al que pertenece el encofrado, Idhost, AreaEncofrado. Véase la siguiente Figura 4.80.

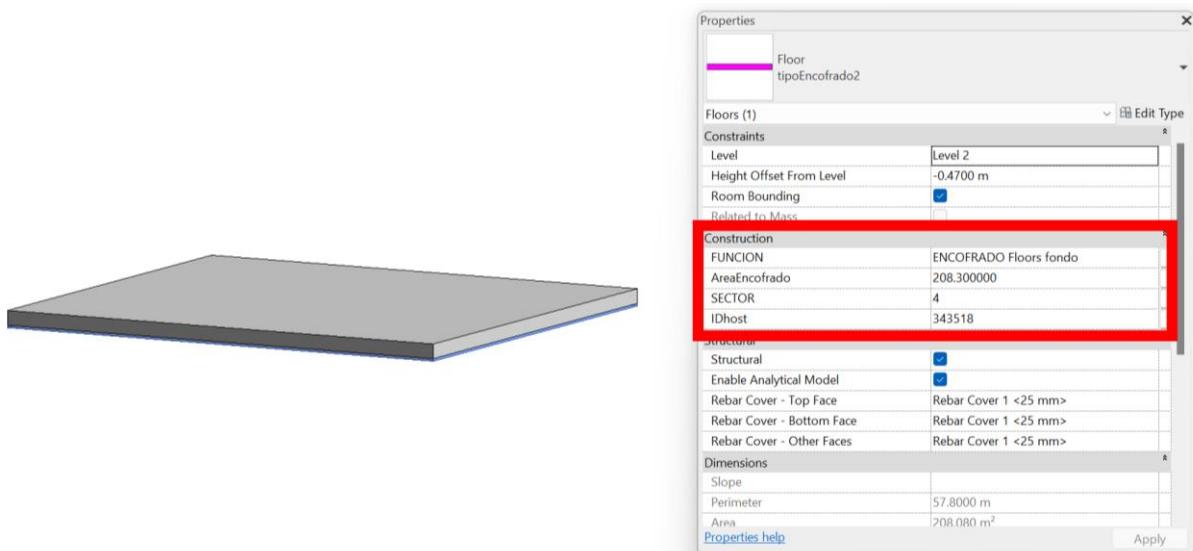


Figura N° 4.80: Resultados de la automatización

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.81, se muestra el resultado de aplicar la automatización para el encofrado tanto de vigas, columnas y losas. Tener esta automatización de encofrados con los descuentos por interceptarse con otros elementos estructurales, ayuda a tener un metrado mucho más exacto y realista.

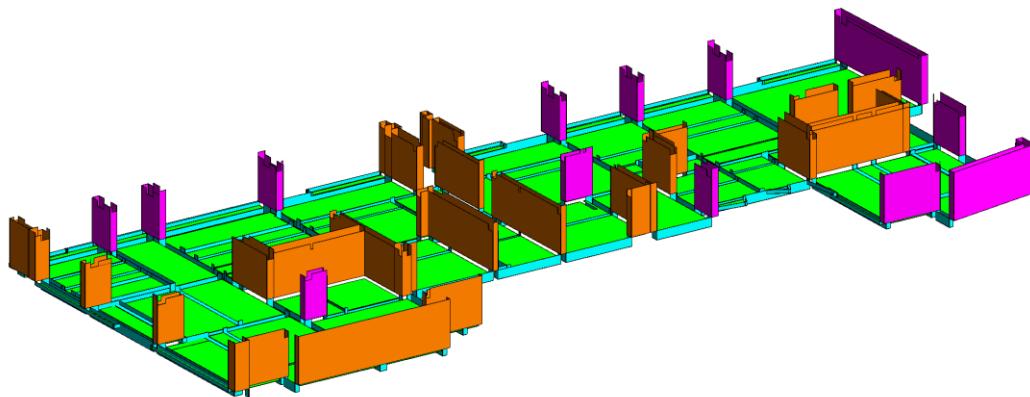


Figura N° 4.81: Automatización del modelado encofrado columnas, vigas, losas, muros

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.10 Aplicativo CI10: “BIM4D proceso constructivo”

Nombre aplicativo: APPLICATIVO CI10 – “BIM4D proceso constructivo del casco estructural”

##### Problema a resolver:

Tener modelado nuestro proyecto de construcción por procesos constructivos mejora y ayuda a tener una perspectiva global de lo que realmente se debe de hacer en el proceso de ejecución.

¿Qué es lo que usualmente se viene realizando?

Normalmente se tiene la información en un Excel, que mediante una secuencia coloreada por sectores de “trenes de trabajo” ayuda en cierto grado al entendimiento de lo que realmente se debería de hacer sin poder visualizarlo en nuestro modelo en Revit a través de simulaciones de procesos constructivos, costos, cronograma, calidad, etc.

Descripción:

¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone usar herramientas de programación a través de la Revit API en el lenguaje de programación C# a través de la plataforma de VISUAL STUDIO versión 2022, un proceso constructivo de las diferentes partidas tanto para elementos verticales como elementos horizontales con toda la información solicitada por el equipo de proyecto (sector, piso, metrado concreto, etc).

Alcances:

- 1) Aplicable a cualquier versión de Revit.

Inputs requeridos:

- 1) Tener el modelado en Revit sectorizado con la automatización “CI-5”.
- 2) Tener el modelo del casco estructural actualizada con la información del tren de trabajo. Haber usado el aplicativo “CP1”.

Limitaciones:

- 1) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.13, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CI-10.

Tabla N° 4.13: Procesos de ejecución aplicativo CI-10

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.8: Cargar el proyecto en Revit previamente sectorizado (usar el aplicativo CI-5).
Paso 2	Figura 3.89: Agrupar las partidas del casco estructural del cronograma maestro.
Paso 3	Tabla 3.17: Asignar colores de degradado para las diferentes partidas del proceso constructivo de las vigas.

Paso 4	Tabla 3.18: Asignar colores de degradado para las diferentes partidas del proceso constructivo de las losas.
Paso 5	Tabla 3.19: Realizar un resumen de los colores asignados a los elementos estructurales.
Paso 6	Figura 3.95: Ejecución del aplicativo “CI-10”.

Ejecución paso a paso del aplicativo APPLICATIVO CI10 – “BIM4D proceso constructivo”

Se procede a cargar el modelo de estructuras previamente modelado con las automatizaciones descritas previamente en esta investigación (ver figura 3.89). De acuerdo al alcance que tiene el desarrollo “CI-5” para proponer la mejor sectorización posible de manera automatizada, se procede a generar diferentes sectorizaciones, a más propuestas de procesos constructivos, más formas de poder establecer estrategias de gestión a través de las sesiones colaborativas ICE entre los principales interesados del proyecto. Las constructoras tienen procesos constructivos “característicos” para edificios entre sus lecciones aprendidas, por lo que, dependiente del tipo y características del proyecto, dichas partidas y/o actividades se pueden tomar como input para dicha automatización. Véase la siguiente Figura 4.82.

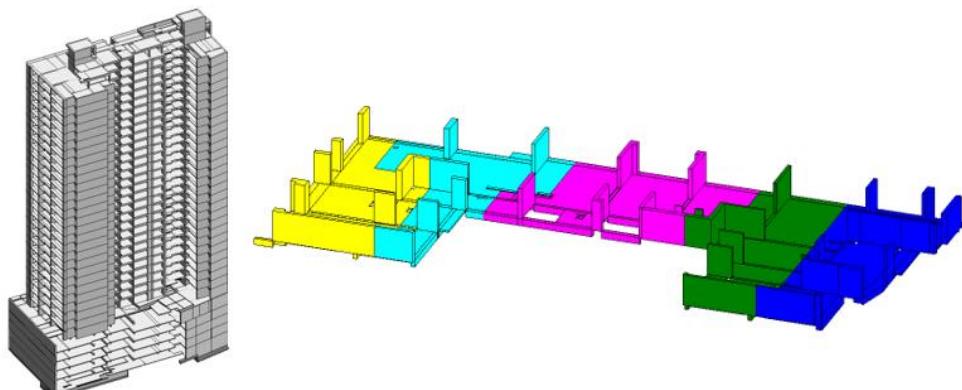


Figura N° 4.82: Modelo en Revit previamente sectorizado

(Fuente: Elaboración propia)

Dichas actividades “características” deben de ser agrupadas de acuerdo a los diferentes elementos estructurales y/o por tipo de vaceado ya sea concreto horizontal y/o concreto vertical, esto no solo permitirá tener un control de la cantidad de concreto por categoría, sino también en planificar cuánto de concreto horizontal probablemente esté destinado a ser cargado y/o transportado por alguna grúa torre para su respectivo vaceado. Véase la siguiente Figura 4.83.

ESTRUCTURA
VERTICALES
1-Colocación de acero en muros y columnas
2-Colocación de IIEE, IISS y Gas en muros y columnas
3-Encofrado de muros y columnas
4-Vaciado de muros y columnas
5-Curado de muros y columnas
6-Desencofrado de columnas
HORIZONTALES
LOSA MACIZA O ALIGERADA
7-Encofrado de fondo de vigas
8-Colocación de acero en vigas
9-Encofrado de costado de vigas y fondo de losa
10-Colocación de prelosas
11-Colocación de acero de losa
12-Colocación de IIEE, IISS y Gas en losa
13-Vaciado de concreto losas y vigas
14-Acabado de losa de piso
15-Curado de losa
16-Desencofrado vigas y losas

Figura N° 4.83: Partidas características de un casco estructural

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.84 se muestra el agrupamiento de actividades de acuerdo al elemento estructural.

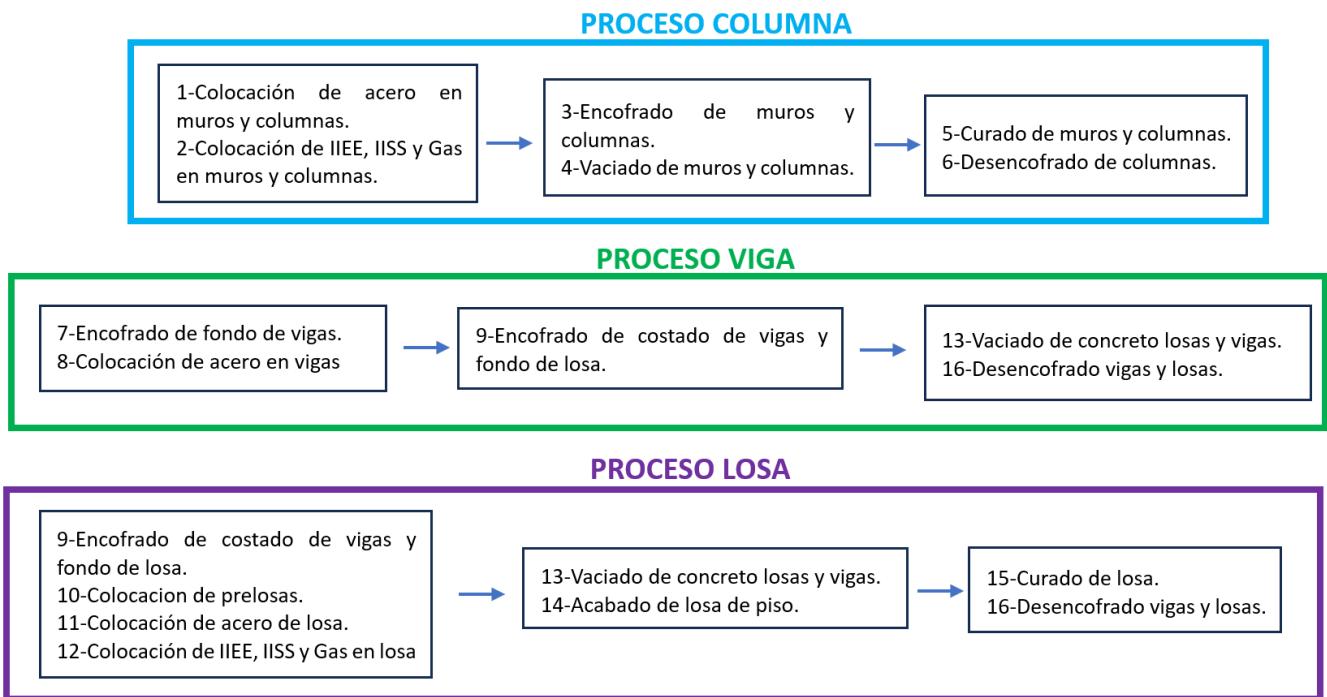


Figura N° 4.84: Agrupamiento de actividades de acuerdo al elemento estructural

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez definidas las actividades a ser consideradas dentro del procesos constructivos del proyecto, se procede a crear los parámetros de sus categorías respectivas en el modelo BIM, para luego, dicha información ser ingresada y/o completada con la automatización desarrollada en esta tesis “CP1”. Visualización, información y automatización es lo que debe de mostrar un modelo BIM, se procede a dar una coloración respectiva a los procesos de cada categoría existente en el proyecto para facilitar el entendimiento de su simulación constructiva.

En la siguiente Figura 4.85 se muestra la creación de las partidas en el modelo BIM e información introducida con automatización “CP-1”.

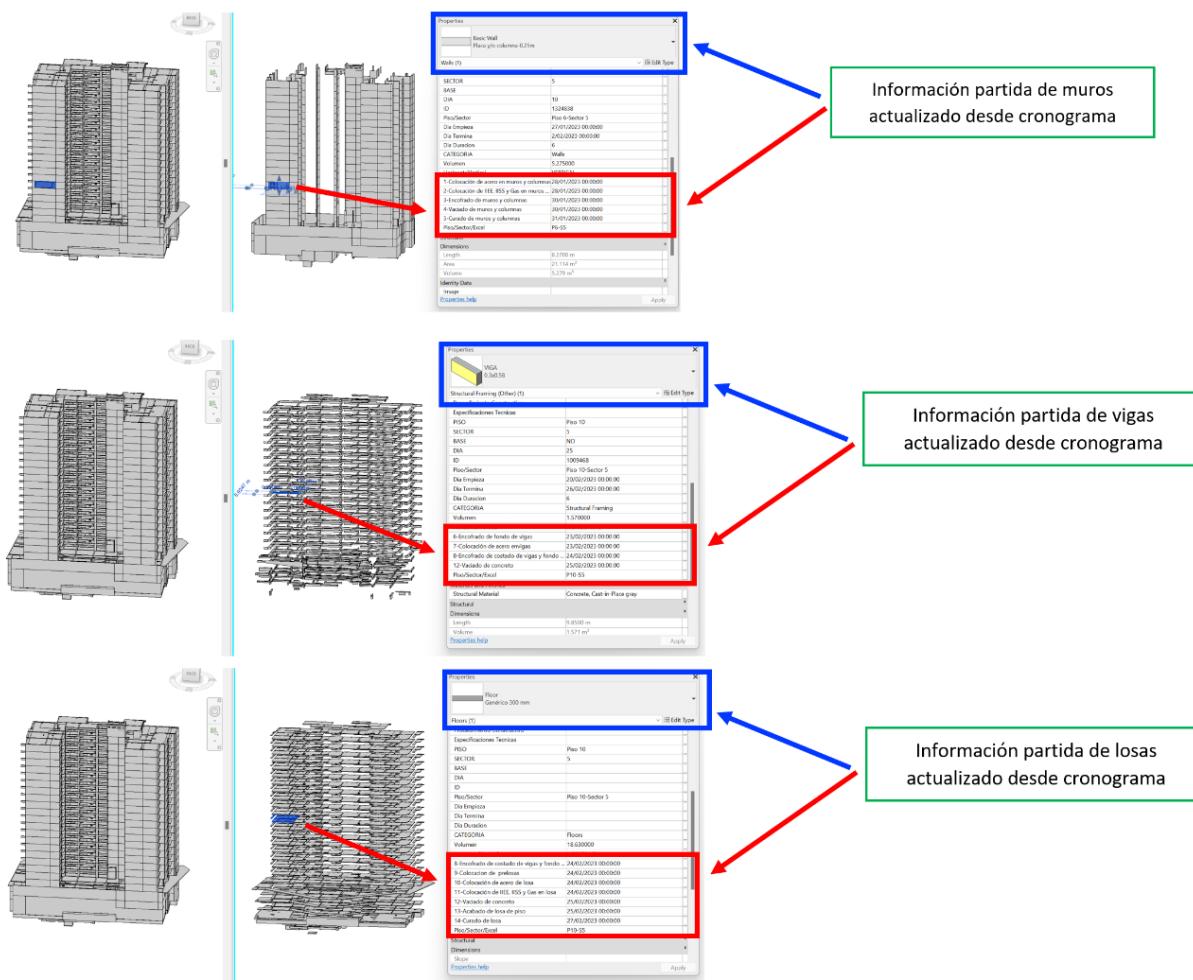


Figura N° 4.85: Creación de las partidas en el modelo BIM.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.86 se muestran los procesos relativos a la categoría “Structural Columns”.

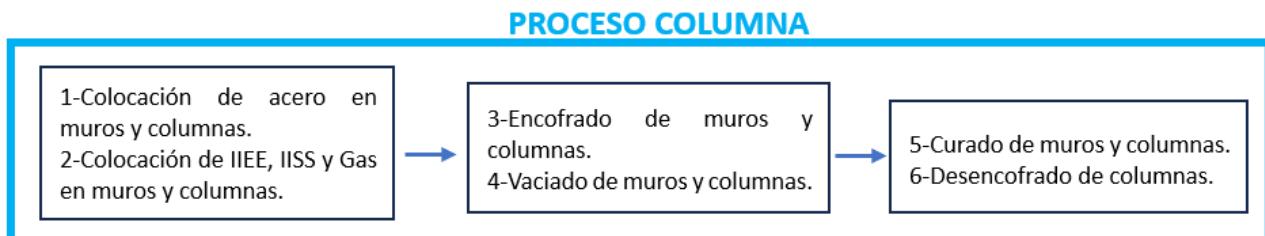


Figura N° 4.86: Procesos relativos a la categoría “Structural Columns”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Tabla 4.14, se muestra la coloración para procesos tanto para elementos estructurales de columnas y placas.

Tabla N° 4.14: Coloración para procesos de columnas y placas

SECTOR	PROCESO COLUMN		
	1-Colocación de acero en muros y columnas 2-Colocación de IIEE, IISS y Gas en muros y columnas	3-Encofrado de muros y columnas 4-Vaciado de muros y columnas	5-Curado de muros y columnas. 6-Desencofrado columnas
1			
Pattern	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>
R-G-B	(0,0,255)	(6,135,251)	(0,0,255)
2			
Pattern	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>
R-G-B	(0,128,0)	(62,255,62)	(0,128,0)
3			
Pattern	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>
R-G-B	(255,0,255)	(255,123,255)	(255,0,255)

4			
<b>Pattern</b>	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>
<b>R-G-B</b>	(0,255,255)	(146,254,221)	(0,255,255)
5			
<b>Pattern</b>	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>
<b>R-G-B</b>	(255,255,0)	(255,255,149)	(255,255,0)

Observación: El proceso “3-Encofrado de muros y columnas” y “4-Vaciado de muros y columnas” se están poniendo en la misma columna dando a entender que estos procesos se desarrollarán simultáneamente, pero teniendo en cuenta que su cantidad de recursos es diferente para cada proceso. Véase la Figura 4.87.

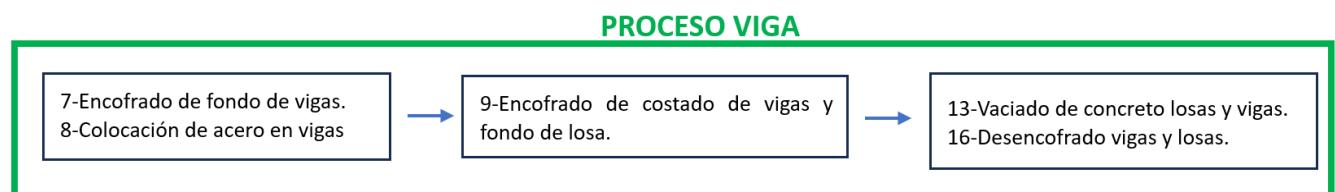


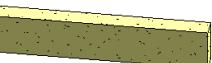
Figura N° 4.87: Procesos relativos a la categoría “Structural Framing”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Tabla 4.15, se muestra la coloración para los procesos del elemento estructural viga.

Tabla N° 4.15: Coloración para procesos de viga

SECTOR	PROCESO VIGA	
	7-Encofrado de fondo de vigas 8-Colocación de acero en vigas	98-Encofrado de costado de vigas y fondo de losa
1		
<b>Pattern</b>	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>
<b>R-G-B</b>	(0,0,255)	(6,135,251)

2		
<b>Pattern</b>	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>
<b>R-G-B</b>	(0,128,0)	(62,255,62)
3		
<b>Pattern</b>	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>
<b>R-G-B</b>	(255,0,255)	(255,123,255)
4		
<b>Pattern</b>	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>
<b>R-G-B</b>	(0,255,255)	(146,254,221)
5		
<b>Pattern</b>	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>
<b>R-G-B</b>	(255,255,0)	(255,255,149)

Observación: El proceso “6-Encofrado de fondo de vigas” y “7-Colocación de acero en vigas” se están poniendo en la misma columna dando a entender que estos procesos se desarrollarán simultáneamente, pero teniendo en cuenta que su cantidad de recursos es diferente para cada proceso.

En la siguiente Figura 4.88, se muestran los procesos relativos a la categoría “Floors”.

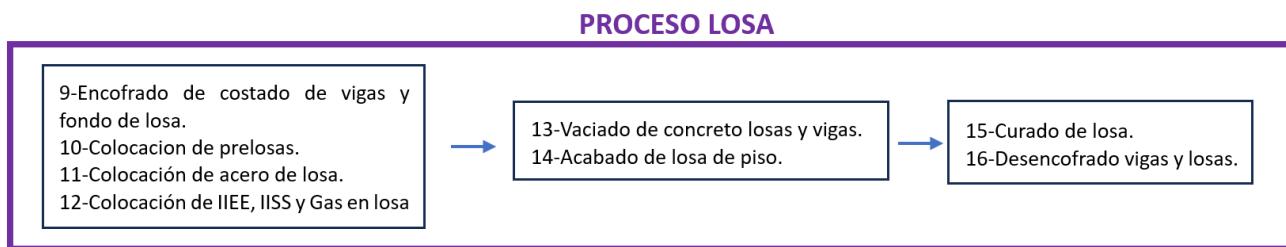
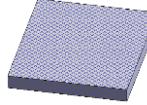
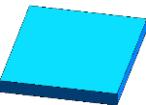
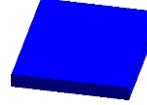
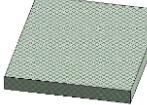
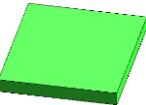
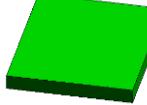
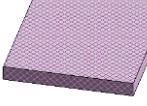
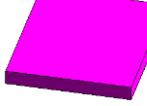
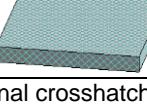
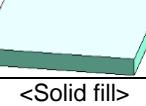
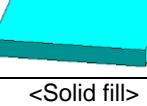


Figura N° 4.88: Procesos relativos a la categoría “Floors”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Tabla 4.16, se muestra la coloración para procesos elementos estructurales relacionados a las losas.

Tabla N° 4.16: Coloración para procesos de losa

SECTOR	PROCESO LOSA			
	9-Encofrado de costado de vigas y fondo de losa. 10-Colocación de prelosas. 11-Colocación de acero de losa. 12-Colocación de IIEE, IISS y Gas en losa.	13-Vaciado de concreto losas y vigas. 14-Acabado de losa de piso.	15-Curado de losa. 16-Desencofrado de vigas y losas.	
1				
Pattern	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>	
R-G-B	(0,0,255)	(6,135,251)	(0,0,255)	
2				
Pattern	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>	
R-G-B	(0,128,0)	(62,255,62)	(0,128,0)	
3				
Pattern	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>	
R-G-B	(255,0,255)	(255,123,255)	(255,0,255)	
4				
Pattern	Diagonal crosshatch 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>	
R-G-B	(0,255,255)	(146,254,221)	(0,255,255)	
5				
Pattern	Diagonal down 1.5mm	<Solid fill>	<Solid fill>	
R-G-B	(255,255,0)	(255,255,149)	(255,255,0)	

En la siguiente Tabla 4.17, se muestra un resumen de coloración de los procesos constructivos definidos para un proyecto de edificación en general.

Tabla N° 4.17: Resumen coloración de procesos constructivos

PROCESO	VIGAS				
	S1	S2	S3	S4	S5
7-Encofrado de fondo de vigas					
8-Colocación de acero en vigas					
9-Encofrado de costado de vigas y fondo de losa					
13-Vaciado de concreto losas y vigas					
LOSAS					
PROCESO	S1	S2	S3	S4	S5
9-Encofrado de costado de vigas y fondo de losa					
10-Colocación de prelosas					
11-Colocación de acero de losa					
12-Colocación de IIEE, IISS y Gas en losa					
13-Vaciado de concreto losas y vigas					
14-Acabado de losa de piso					
15-Curado de losa					
16-Desencofrado de vigas y losas					
COLUMNAS					
PROCESO	S1	S2	S3	S4	S5
1-Colocación de acero en muros y columnas					
2-Colocación de IIEE, IISS y Gas en muros y columnas					
3-Encofrado de muros y columnas					
4-Vaciado de muros y columnas					
5-Curado de muros y columnas					
6-Desencofrado de columnas					

En la siguiente Figura 4.89, se muestra finalmente se procede a ejecutar el aplicativo “C1-10”, en donde a través de una coloración que representa un proceso constructivo relacionado a su categoría respectiva, se puede visualizar el proceso constructivo. El siguiente video de la siguiente imagen puede visualizarse en el siguiente link: <https://acortar.link/U8WoyW>

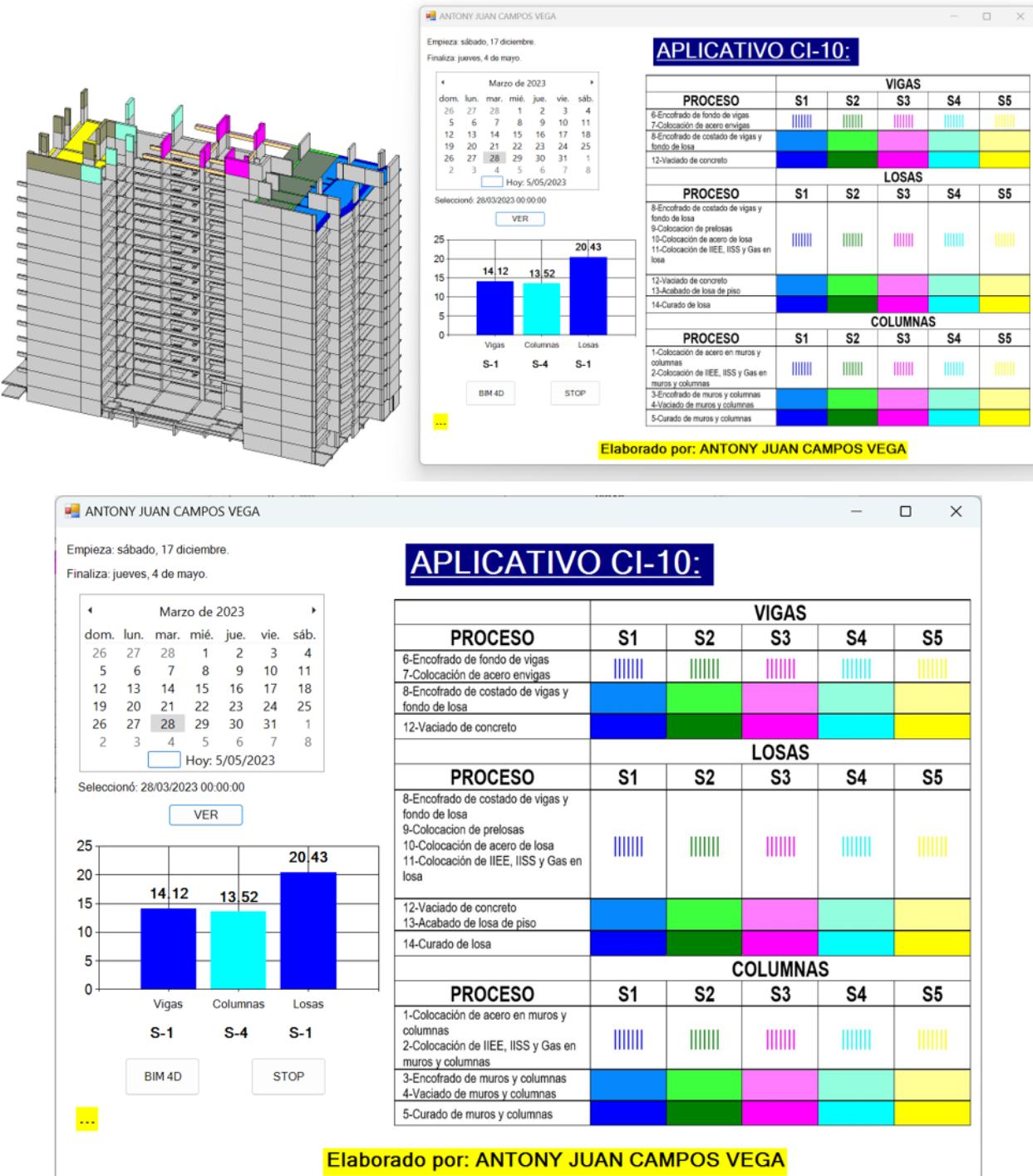


Figura N° 4.89: Ejecución del aplicativo “BIM4D proceso constructivo”

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.11 Aplicativo CP1: “Interoperabilidad Revit-cronograma maestro”

Nombre del aplicativo: APPLICATIVO CP1 - “Interoperabilidad Revit-cronograma maestro”

##### Problema a resolver:

Lo que realmente importa de un modelo BIM es la información que este contiene. Una vez obtenido el modelado del casco estructural en Revit estructuras y su sectorización respectiva, se puede ver que esta no contiene información de sus elementos respectivos.

Lo más importante de “BIM” es la letra “I” de información que se introduce en el proyecto de construcción. Lo que realmente interesa en el modelo BIM, es que, al seleccionar un elemento, por ejemplo, una columna, muestre en tiempo real las fechas de sus procesos constructivos correspondientes, es decir, en qué momento se hará la colocación de acero en muros y columnas, colocación de IIEE, IISS y Gas en muros y columnas, encofrado de muros y columnas, vaciado de muros y columnas, curado de muros y columnas. Tener esta información centralizada en el modelo BIM es de gran ayuda, ya que permite tener una mejor gestión del proyecto al comparar lo planificado vs lo real.

##### ¿Qué es lo que usualmente se viene realizando?

Lo que usualmente se viene realizando es tener la información del modelo BIM y del cronograma con sus respectivas fechas de partidas por separado, lo que no permite tener una conectividad en tiempo real ni su visualización respectiva. En algunos casos, se toma la gran tarea repetitiva de crear parámetro por parámetro para luego introducir fecha por fecha desde el cronograma maestro hacia los elementos del modelo BIM, corriendo el riesgo, indudablemente, de cometer errores.

##### Descripción:

##### ¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone usar herramientas de programación a través de la Revit API, en la cual busca una interoperabilidad directa entre el cronograma maestro en Excel y el modelo BIM. En cuestión de segundos, se tendrá cada elemento estructural del modelo BIM actualizado con sus partidas correspondientes en el cronograma del Excel.

Alcances:

- 1) Aplicable a cualquier versión de Revit.

Inputs requeridos:

- 1) Tener el modelo BIM sectorizado.

Limitaciones:

- 1) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.18, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CP-1.

Tabla N° 4.18: Procesos de ejecución aplicativo CP-1

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.96: Abrir el Excel del tren de trabajo y ver la nomenclatura en cómo se nombra las actividades a realizarse.
Paso 2	Figura 3.97: Se procede a crear los parámetros para las categorías correspondientes dentro de Revit tanto para las losas, vigas y columnas.
Paso 3	Figura 3.98: Se procede a crear el parámetro “Piso/Sector/Excel” tanto para las vigas, columnas y losas.
Paso 4	Figura 3.99: Se ejecuta la opción “Piso/Sector/Excel” para poder darle la siguiente forma correspondiente al del Excel y con la siguiente codificación obtener lo siguiente.
Paso 5	Figura 3.102: En la opción “Tren de trabajo” se procede a cargar el tren de trabajo del proyecto.
Paso 6	Figura 3.103: Se ejecuta las opciones: “Losas”, “Vigas”, “Columnas” para poder linkear automáticamente la información del cronograma maestro a nuestro modelo en Revit.

## Ejecución paso a paso del aplicativo APPLICATIVO CP1 - “Interoperabilidad Revit-cronograma maestro”

Previamente, a través de las sesiones ICE en conjunto con los principales interesados del proyecto con ayuda de modelos BIM, se determinó el mejor proceso constructivo para el proyecto, es decir, se diseñó un tren de trabajo. Se decide establecer una nomenclatura para el tren de trabajo, por ejemplo, “P1-S3” haciendo referencia a los elementos estructurales del Piso 1 y del Sector 3. Esta nomenclatura es importante ya que será el punto de partida como estrategia para los códigos de la automatización. Los procesos constructivos se determinaron en la automatización CI-10. Véase la siguiente Figura 4.90.

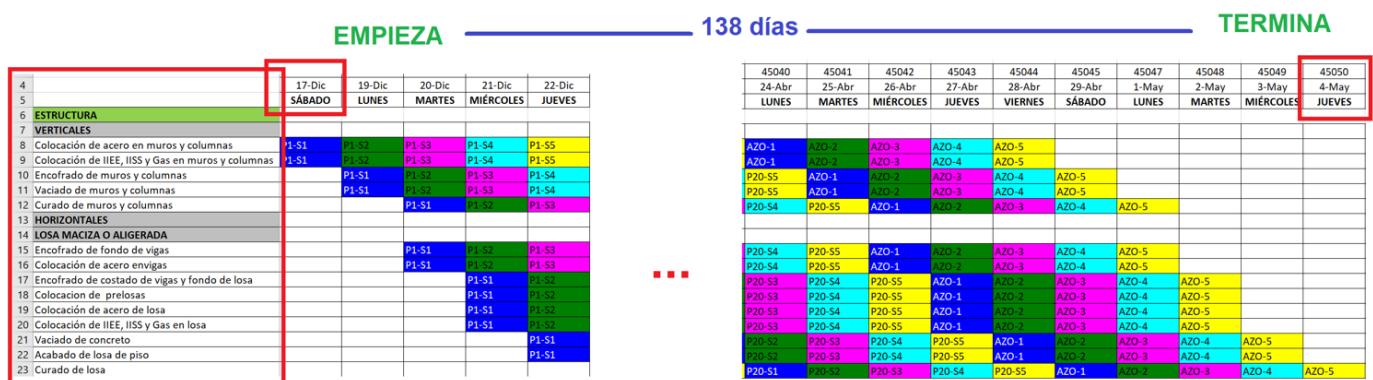


Figura N° 4.90: Tren de actividades para el casco estructural

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.91, se muestran los procesos típicos del casco estructural relacionados a un proyecto de edificación.

ESTRUCTURA
VERTICALES
1-Colocación de acero en muros y columnas
2-Colocación de IIEE, IISS y Gas en muros y columnas
3-Encofrado de muros y columnas
4-Vaciado de muros y columnas
5-Curado de muros y columnas
6-Desencofrado de columnas
HORIZONTALES
LOSA MACIZA O ALIGERADA
7-Encofrado de fondo de vigas
8-Colocación de acero en vigas
9-Encofrado de costado de vigas y fondo de losa
10-Colocación de prelosas
11-Colocación de acero de losa
12-Colocación de IIEE, IISS y Gas en losa
13-Vaciado de concreto losas y vigas
14-Acabado de losa de piso
15-Curado de losa
16-Desencofrado vigas y losas

Figura N° 4.91: Procesos típicos del casco estructural

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.92, en el lado derecho, se muestra la creación de las actividades del tren de trabajo diseño entre los principales interesados del proyecto.

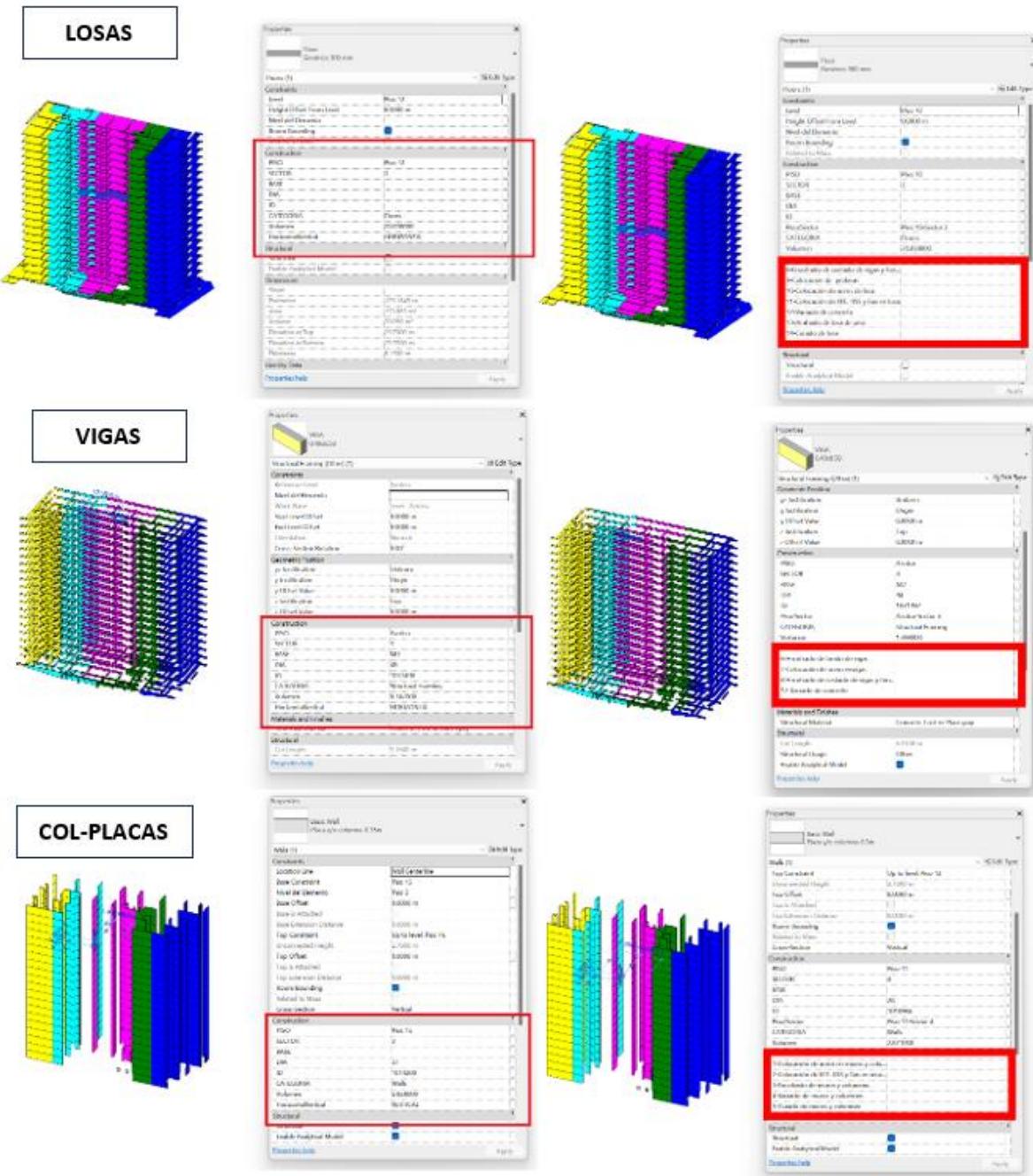


Figura N° 4.92: Creación de parámetros para los elementos estructurales  
(Fuente: Elaboración propia)

Se procede a crear el parámetro tipo texto: "Piso/Sector/Excel" tanto para las vigas, columnas y losas. Se ejecuta el aplicativo "Interoperabilidad Revit-cronograma maestro ", con código:

“CP-1”. Se ejecuta la opción “Piso/Sector/Excel” para poder darle la siguiente forma correspondiente al del Excel. Véase la siguiente Figura 4.93.

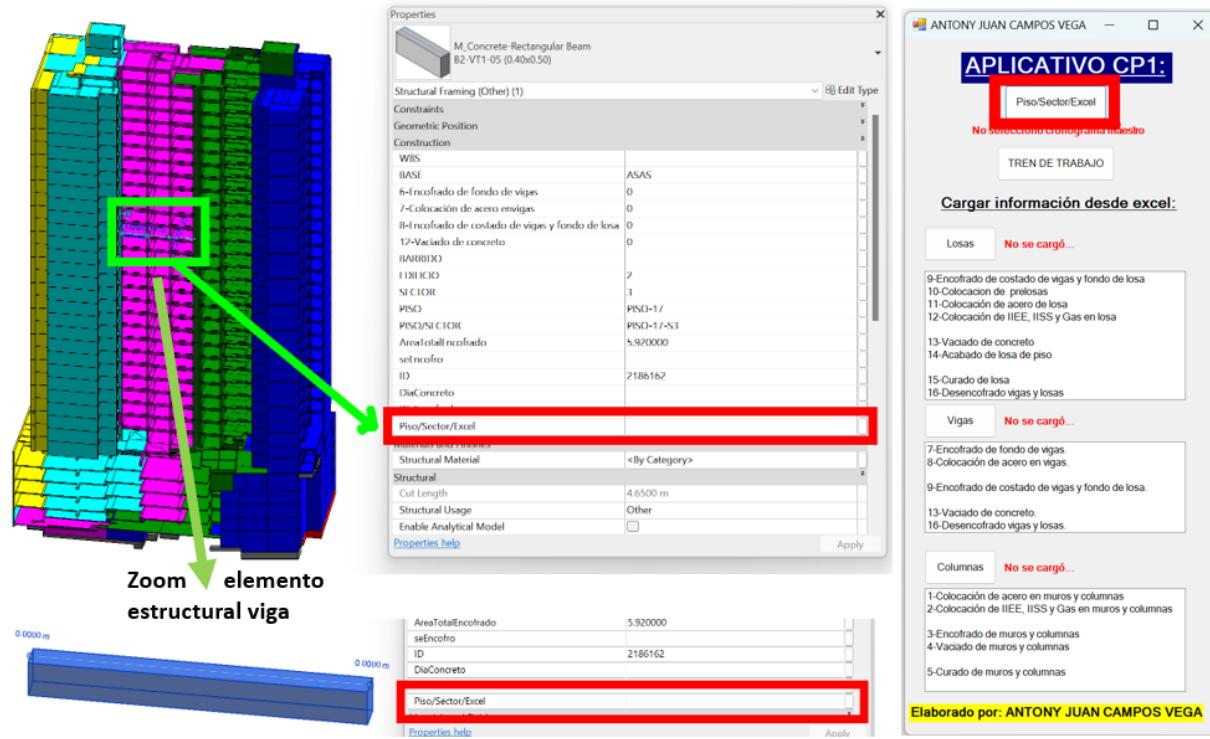


Figura N° 4.93: Creación de un parámetro compartido

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.94, se nota que se ha cargado correctamente la información a todos los elementos estructural del modelo BIM en el parámetro “Piso/Sector/Excel” con la forma y formato del Excel respectivo.



Figura N° 4.94: Información completada para todos los elementos

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.95, se muestra la información completa para un elemento estructural dentro del software BIM de Revit.

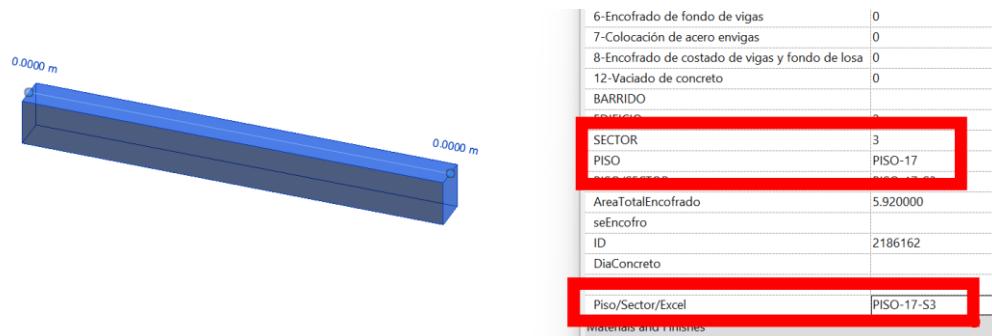


Figura N° 4.95: Información completa para un elemento

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.96, se procede a cargar el tren de trabajo para ejecutar la opción “TREN DE TRABAJO”.

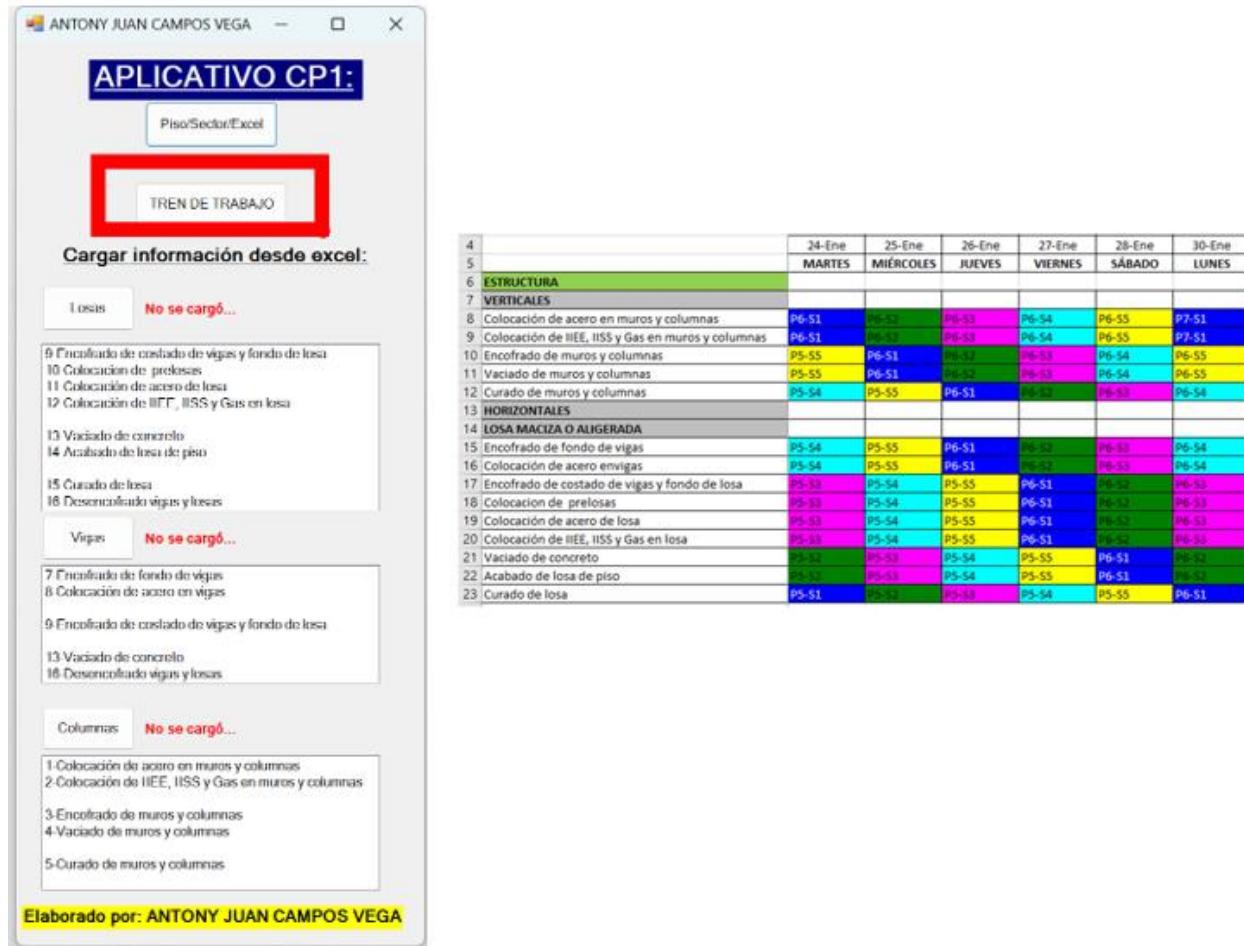


Figura N° 4.96: Opción “TREN DE TRABAJO” del aplicativo CP-1

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.97, se procede a ejecutar las opciones: “Losas”, “Vigas”, “Columnas” para poder linkear automáticamente la información del cronograma maestro a nuestro modelo en Revit.

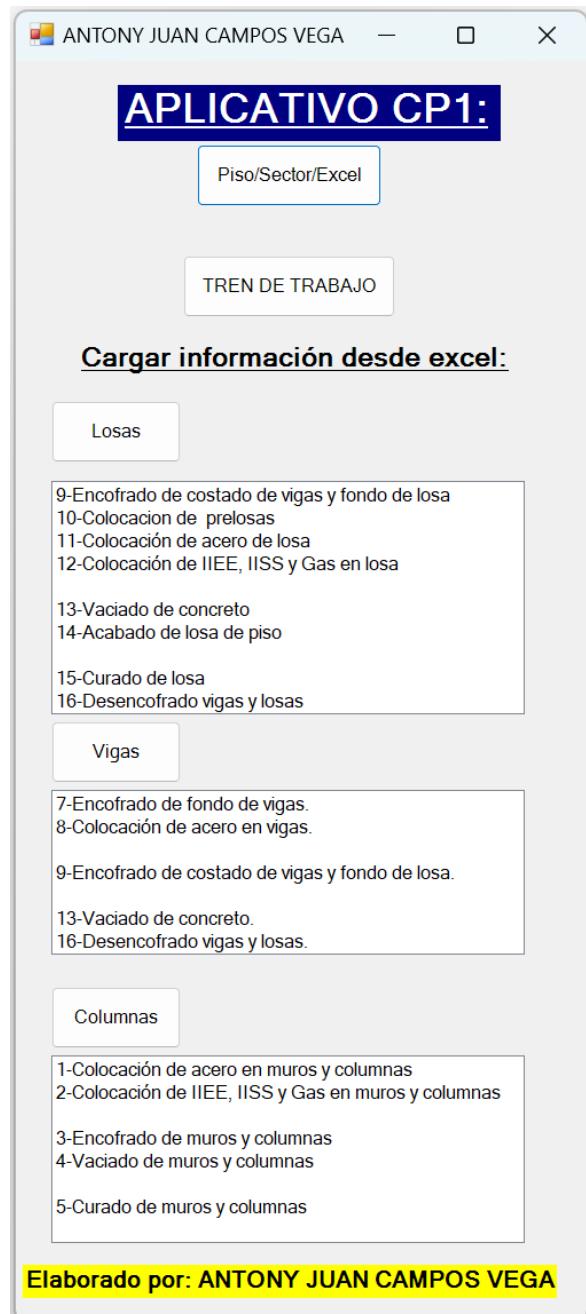


Figura N° 4.97: Ejecución completa del aplicativo CP-1

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.98, se muestran los resultados de la ejecución del aplicativo “CP-1”.

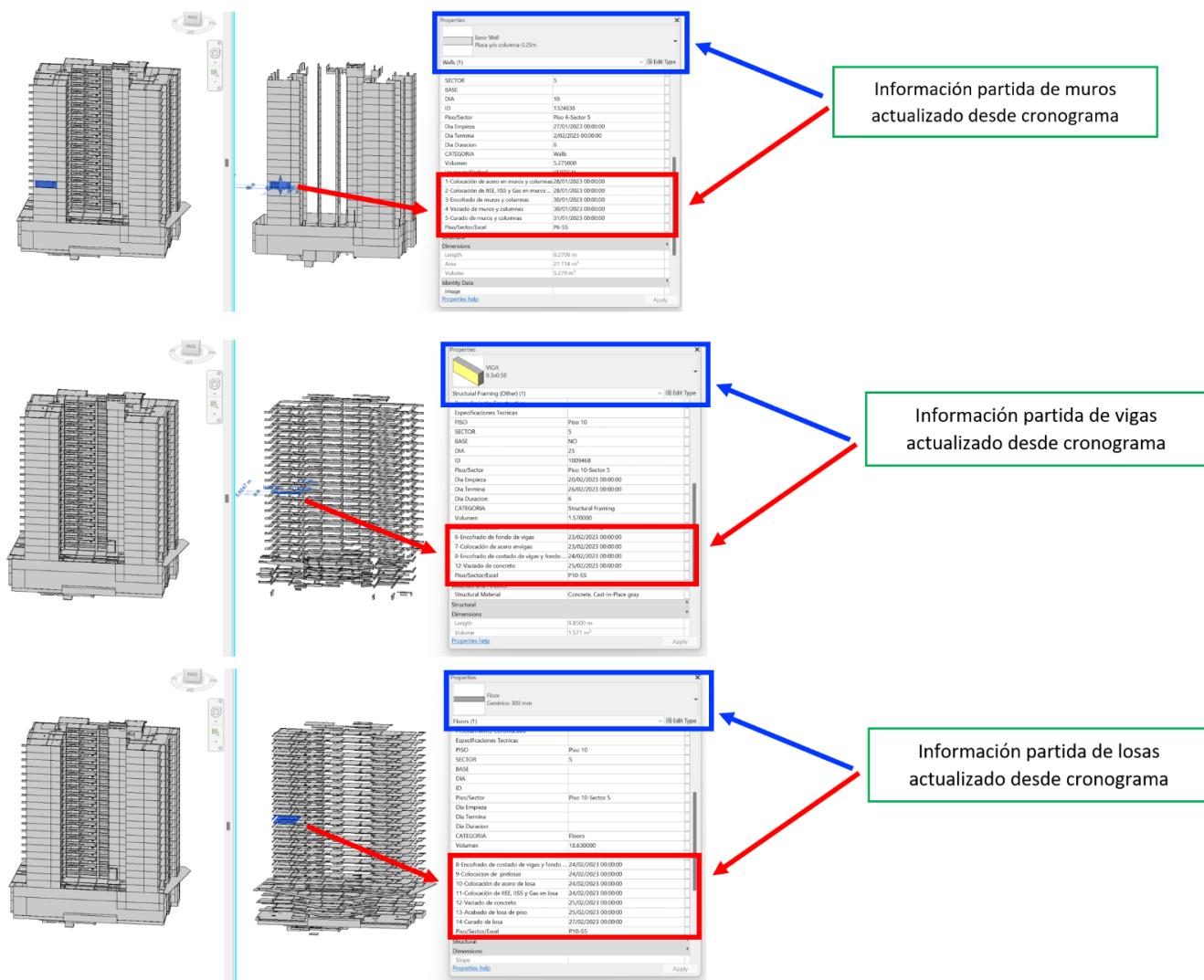


Figura N° 4.98: Resultados del aplicativo CP-1

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.99, se muestran los resultados del aplicativo “CP-1” para diferentes sectorizaciones.

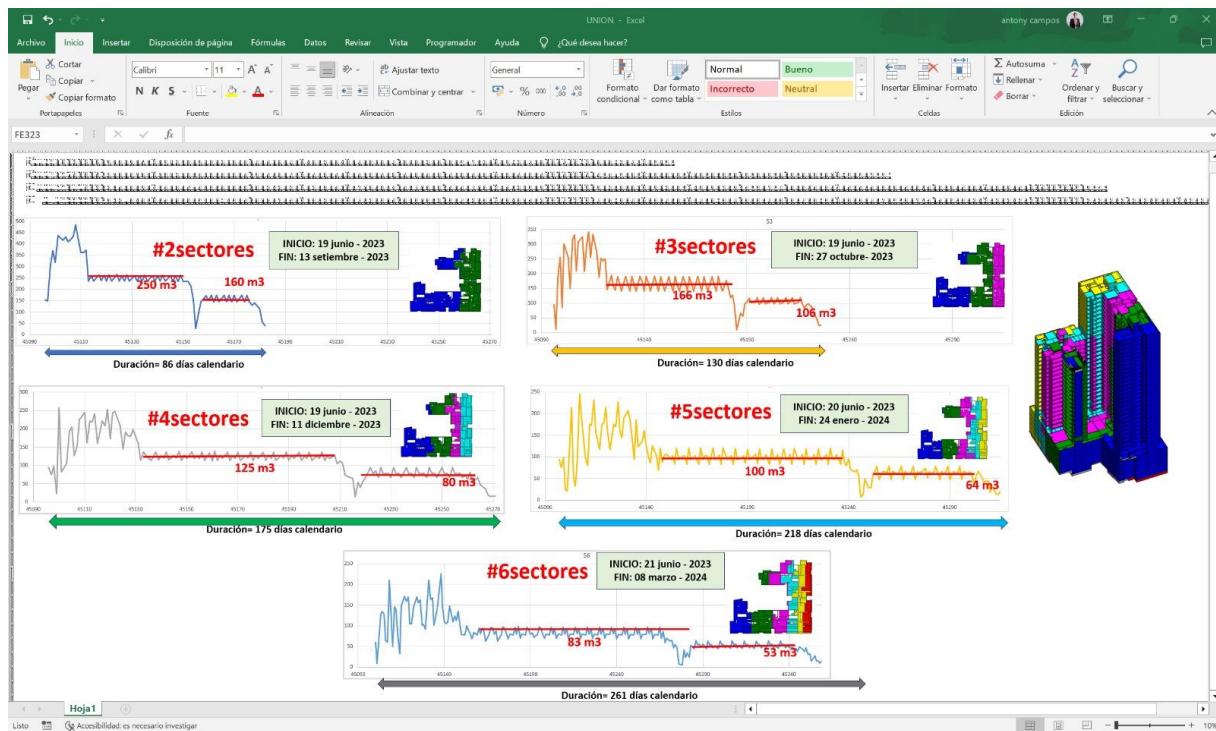


Figura N° 4.99: Resultados aplicativo CP-1 para diferentes sectores

(Fuente: Elaboración propia)

El mayor porcentaje de los proyectos al momento de ejecutarse no se terminan dentro del alcance, cronograma y calidad, debido a una mala o tardía gestión de riesgos. Esta automatización permite poder tomar decisiones lo más pronto posible e identificar riesgos y/o variabilidad. Dentro de la metodología de Last Planner System (herramienta metodológica de la filosofía Lean Construction) propone 3 niveles de planificación colaborativa: Plan maestro, Planificación intermedia o Look Ahead, y planificación semanal. Al tener varias propuestas de sectorizaciones con sus resultados de metrados tanto de concreto y encofrados automatizados, se estaría listo para la toma de decisiones de manera colaborativa y ver que solución se adapta o se estaría dispuesto a asumir. Al tener nuestro Look Ahead con 4-6 semanas, se puede empezar a identificar restricciones a las actividades relacionadas a dicho

tren de trabajo. Riesgos tanto a nivel de diseño, materiales, mano de obra, equipos, pre requisitos, etc. Véase la siguiente Figura 4.100.



Figura N° 4.100: Planificación intermedia con 4 semanas. Resultados automatizados

(Fuente: Elaboración propia)

Por ejemplo, de acuerdo a los resultados obtenidos de manera automatizada, el equipo de proyecto decidió realizar la edificación con 5 sectores. De acuerdo a las actividades del tren de trabajo, se define la planificación intermedia-Look Ahead para 4-6 semanas. Dichas actividades pasan automáticamente por una gestión de riesgos, y aquellas que estén libres de restricciones automáticamente pasan a un **inventario de trabajo ejecutable** para formar parte del plan semanal ya que son las únicas actividades “confiables” de realizarse. Aquellas actividades que no estén libres por completo de restricciones, se les asigna un responsable y una fecha para su liberación respectiva en base a compromisos, aumentando la confiabilidad.

Las automatizaciones desarrolladas en esta tesis, serán usadas para usuarios con un nivel básico de Revit entrenados previamente sobre el uso de la automatización. Uno de los aspectos más importantes de la metodología BIM es la calidad del modelo BIM (Chuck, 2011) por lo que se propone el siguiente flujo de procesos en la siguiente Figura 4.101:

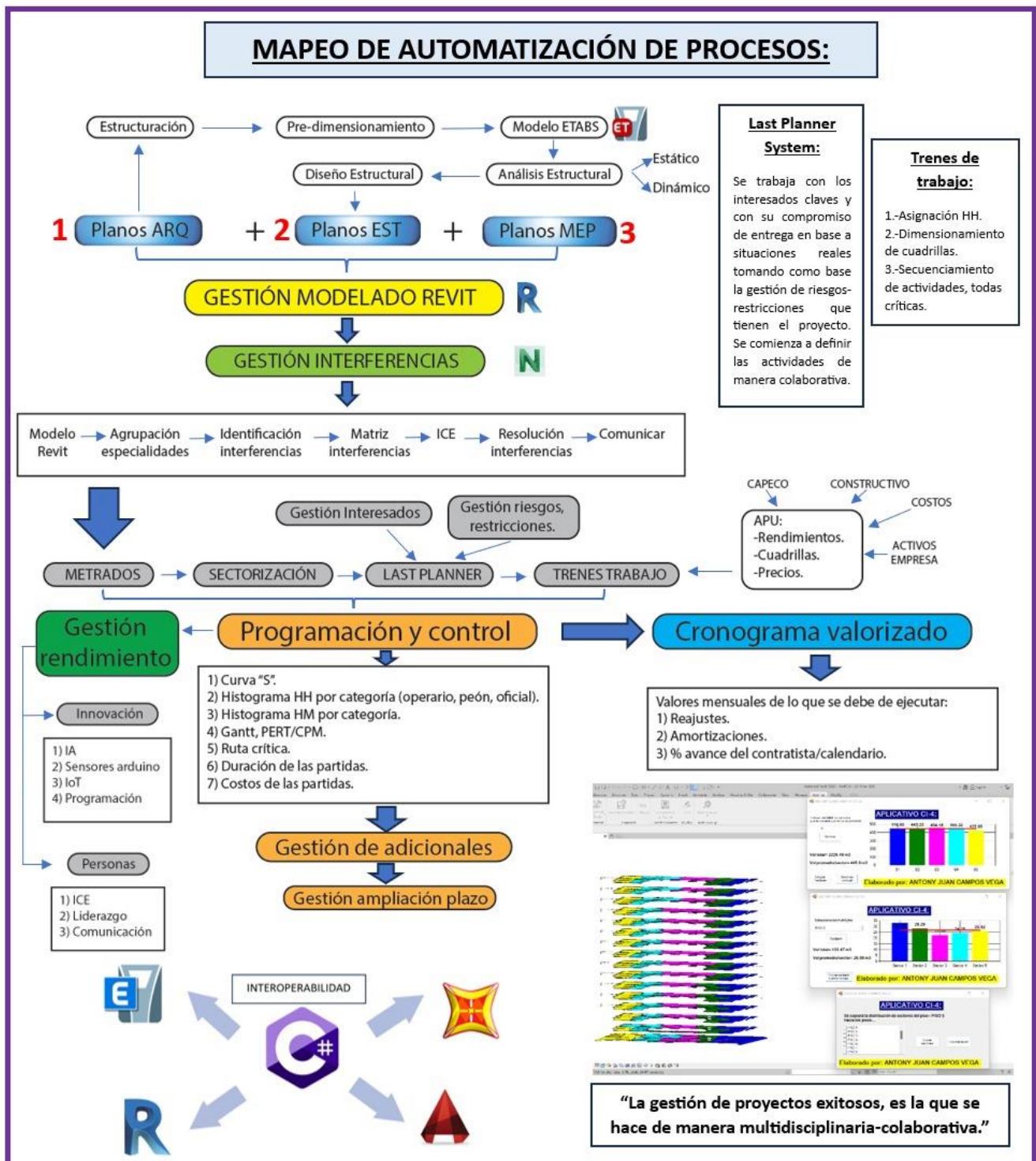


Figura N° 4.101: Flujo de trabajo para el proceso de automatización en una edificación.

(Fuente: Elaboración propia)

Entre la fase de la gestión del modelado BIM y la gestión de interferencias, debe existir un control de calidad del modelado BIM. Considerando aspectos como: duplicidad de elementos, peso excesivo del archivo al tener cargados tipos que no se están usando, finalidad del modelado BIM, Familias bien elaboradas, Información no gráfica ingresada correctamente, planos y membrete, nomenclatura de archivos, control de versiones, correcto LOD's. A continuación, se muestra algunas automatizaciones utilizadas en esta investigación en el lenguaje C#. Véase la siguiente Figura 4.102.

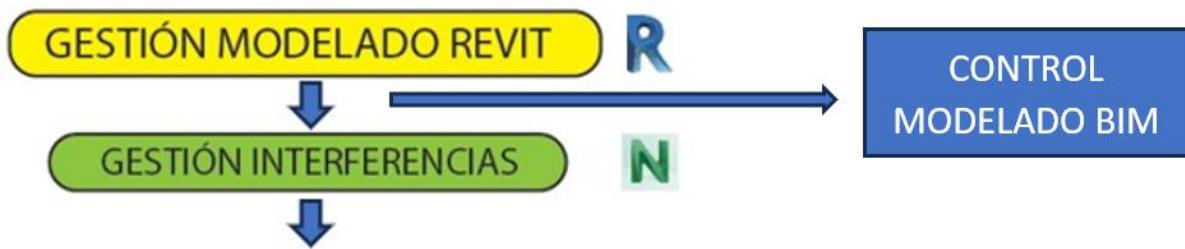


Figura N° 4.102: "Control del modelado BIM" en proyectos BIM

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.12 Aplicativo CE1: "BIM RA-RV"

Nombre del aplicativo: APPLICATIVO CE1 - "BIM RA-RV"

Problema a resolver:

¿Qué es lo que usualmente se viene realizando?

En el proceso de ejecución, los últimos planificadores, las personas que están en el día a día en la obra, constantemente deben estar haciendo uso de los planos 2D impresos en obra, para poder leerlos e interpretarlos detenidamente de tal manera que no se les pase ningún detalle al momento de ejecutar y/o montar algún elemento estructural. Esta forma de trabajo puede resultar improductivo si el proyecto es de gran complejidad, ya que se tendría muchísimos planos impresos en obra y estar buscando plano por plano hasta encontrar el

correspondiente al elemento que se desea montar, y más aún si se deben imprimir nuevamente los planos 2D debido a cambios de ingeniería o del cliente.

Si una imagen habla más que mil palabras, un recorrido virtual habla muchísimo más, que es lo que trata esta investigación, en realizar automatizaciones para generar realidad aumentada y virtual a través de modelos BIM con información que ha sido elaborada, procesada, validada y visualizada por los principales stakeholder del proyecto a través de sesiones ICE.

En la siguiente Figura 4.103 se muestra el almacenamiento de planos de una edificación después de su construcción.



Figura N° 4.103: Almacenamiento de planos después de su construcción

(Fuente: Teicholz, 2013)

Descripción:

¿Qué herramienta se propone en esta tesis?

Se propone realizar una aplicativo de celular con realidad aumentada y virtual, es decir, el obrero ya no tendrá que depender de planos 2D impresos, ya que tendría en el aplicativo el modelo BIM totalmente actualizable en tiempo real. El last planner o último planificador, tendría que ir al punto donde se montará el elemento estructural y mediante un código “QR” e inteligencia artificial, lograría ver en realidad aumentada dicho elemento con todos los detalles e información necesaria para su correcto montaje. Este aplicativo también tendría la opción

de buscar el elemento estructural por parámetros determinados (ubicación por ejes, piso y sector al que pertenece).

Esto es de gran ventaja, ya que hoy en día todos cuentan con un celular de bolsillo. Esta app aparte de ser “userfriendly” también es “responsive desing”, es decir, es accesible y adaptable a cualquier dispositivo como Tablet, smartphones, Android, etc.

Alcances:

- 1) Aplicable a cualquier versión de Revit.
- 2) Aplicable a cualquier tipo de celular Android, Tablet, Smartphone.

Inputs requeridos:

- 1) Modelo en Revit en todas sus especialidades ó el modelo de estructuras con su acero respectivo en caso que solo se desee enfocarse en esta especialidad.

Limitaciones:

- 1) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.

En la siguiente Tabla 4.19, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CE-1.

Tabla N° 4.19: Procesos de ejecución aplicativo CE-1

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.111: Establecer mapeo proceso.
Paso 2	Figura 3.112: Exportar el modelo Revit en formato “.FBX”
Paso 3	Figura 3.114: Cargar el modelo “.FBX” en la interfaz de Unity.
Paso 4	Figura 3.115: Generar un código QR y guardarlo como imagen.
Paso 5	Figura 3.116: Generar el archivo “.apk”
Paso 6	Figura 3.118: Ejecutar el archivo “.apk” en cualquier dispositivo.

### Ejecución paso a paso del aplicativo APPLICATIVO CE1 - “BIM RA-RV”

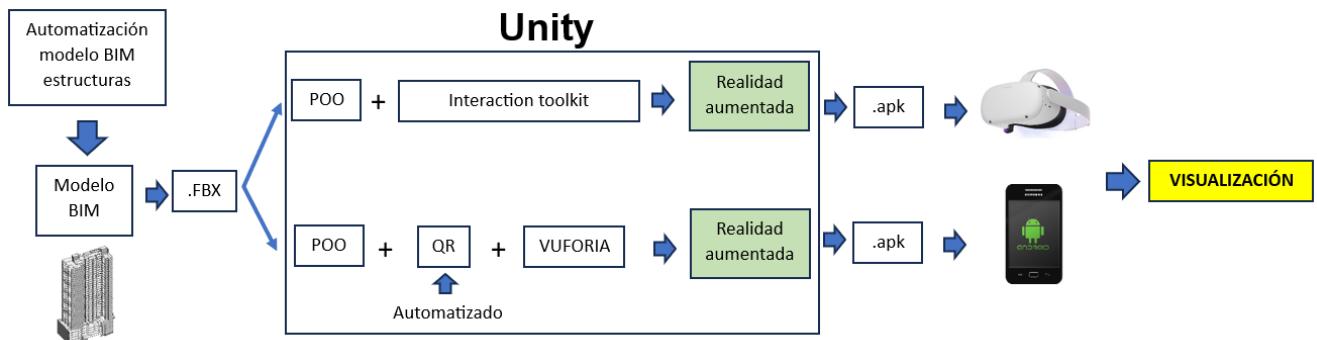
Unity es un software conocido como un “motor” para el desarrollo de videojuegos diseñado para el uso sinérgico con el uso de la programación orientada C#, permitiendo el diseño, creación, control y funcionamiento de entornos interactivos como realidad virtual y aumentada con renderizados gráficos 2D, 3D, motores que simulan las leyes de la física, animaciones, inteligencia artificial, sonidos, etc. Su logo se visualizada en la siguiente Figura 4.104.



Figura N° 4.104: Logo de Unity, creado el 8 de junio del 2005

(Fuente: Unity Technologies)

En el desarrollo de esta tesis, se estableció un mapeo de procesos que permita seleccionar la mejor opción para mejorar la gestión en obra por parte de los Last Planner al hacer uso de la RA-RV. En la siguiente Figura 4.105, se muestra el mapeo de procesos para la aplicación de “RV-RA”.



-POO: programación orientada a objetos.  
-Interaction toolkit, VUFORIA: librerías para el desarrollo de RV, RA respectivamente.  
.apk: formato Android Package.

Figura N° 4.105: Mapeo de procesos para la aplicación de “RV-RA”

(Fuente: Elaboración propia)

En las versiones actuales de Revit (2020 en adelante), su interfaz ya cuenta la opción de poder exportar formatos “.FBX” de manera automática para luego importarlo desde Unity. Esta forma de exportar a veces genera formatos que no contienen información completa de materiales, por lo que en estos casos, se prefiere realizar su codificación considerando aspectos de materiales-colores que el proyecto crea relevante para su visualización ya sea por RA-RV.

Véase la siguiente Figura 4.106.

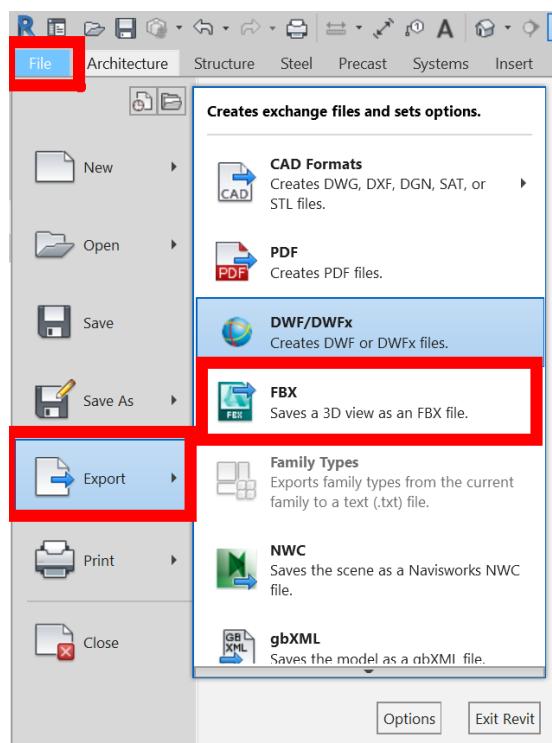


Figura N° 4.106: Exportación formato “.FBX”

(Fuente: Elaboración propia)

La siguiente Figura 4.107, se muestra el código para automatizar la exportación de un modelo BIM en el software Revit con formato “.FBX”.

```

public void metodo( Document doc, FBXExportOptions fbx, View3D vista){

    // View3D vista= new FilteredElementCollector(doc)
    // .OfClass(typeof(View3D))
    // .Cast<View3D>()
    // .Where(x=> x.Name=="Nombre vista con detalles específicos").First();

    ViewSet vistas= new ViewSet();
    vistas.Insert(vista);

    using (Transaction tran= new Transaction(doc, "Antony Campos Vega")) {
        tran.Start();
        //Modificaciones al documento...
        doc.Export(Path.GetDirectoryName(doc.PathName), "FBXAntonyCamposVega", vistas, fbx);
        tran.Commit();
    }

    TaskDialog.Show("Título",".FBX generado de manera correcta");

    //FIN MÉTODO ANTONY CAMPOS VEGA, FIC-UNI
}

```

Figura N° 4.107: Código automatizado para la exportación modelo BIM formato “.FBX”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.108, se muestra la importación del modelo “.FBX” desde la interfaz de Unity.

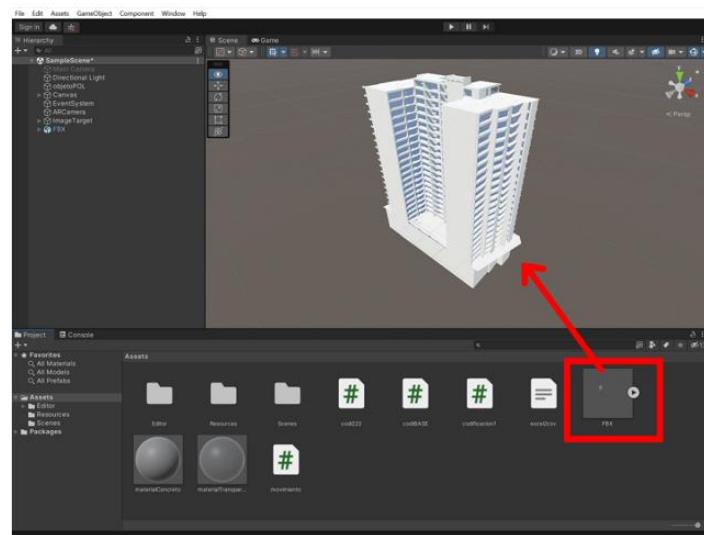


Figura N° 4.108: Importación del modelo “.FBX” desde Unity

(Fuente: Elaboración propia)

La generación de códigos QR para la realidad aumentada, se hizo haciendo uso de herramientas de programación para poder cargarlos a la interfaz de Unity. Véase la siguiente Figura 4.109.

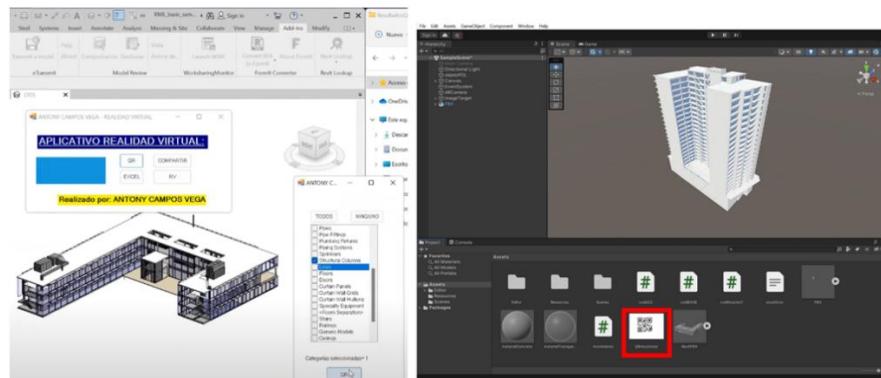


Figura N° 4.109: Automatización códigos QR

(Fuente: Elaboración propia)

Dentro de la interfaz de Unity se procede a poner la plataforma “Android” ya que es la opción para programar tanto en realidad virtual como en aumentada. Terminada la programación dentro de la interfaz de Unity, se procede generar el archivo “.apk” para introducirlo en los lentes óculos y/o celular. Véase la siguiente Figura 4.110.

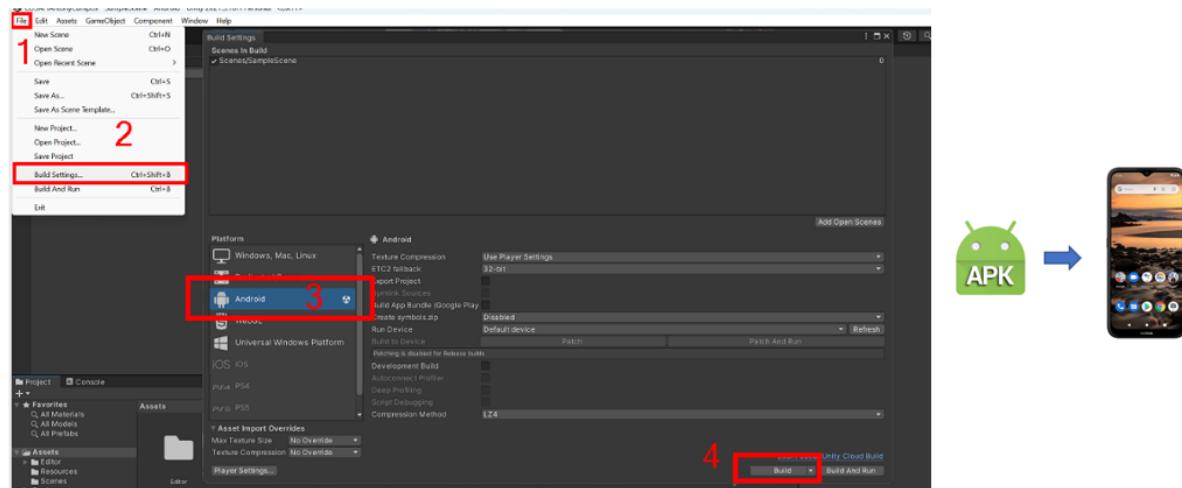


Figura N° 4.110: Plataforma Android y extensión “.apk”

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez obtenido el modelo BIM, cuyo proceso de modelamiento se realizó con las automatizaciones descritas anteriormente, se procede a generar al archivo “.FBX” para proceder a ejecutar el aplicativo “BIM RA-RV”, con código: “CE-1” por especialidades, ya sea de estructuras, arquitectura, MEP. Dicha automatización permite “linkear” el proceso constructivo generado con la automatización “CI-10” descrita en esta tesis, al modelo tanto en realidad virtual como en realidad aumentada.

El alcance de esta automatización, es que dentro de la codificación se podría ponerle diferentes escalas para la visualización del modelo BIM estructuras (concreto-encofrado), desde escalas pequeñas en la que el modelo RA entre en las dimensiones de cualquier hoja bond (dentro de esta hoja se imprimirá el código QR), hasta a escalas reales de obra. Esto indudablemente ayudará a los Last Planner a tener un mejor entendimiento de los elementos a construir, con información detallada de dichos elementos. Véase la siguiente Figura 4.111.

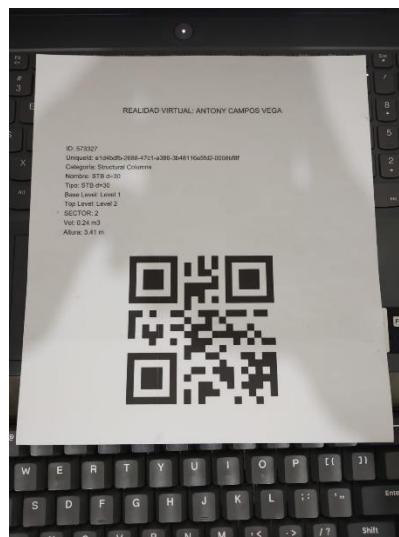


Figura N° 4.111: Impresión código QR en una hoja bond A4

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.112, se muestra la información del proceso constructivo linkado al modelo en RV-RA.

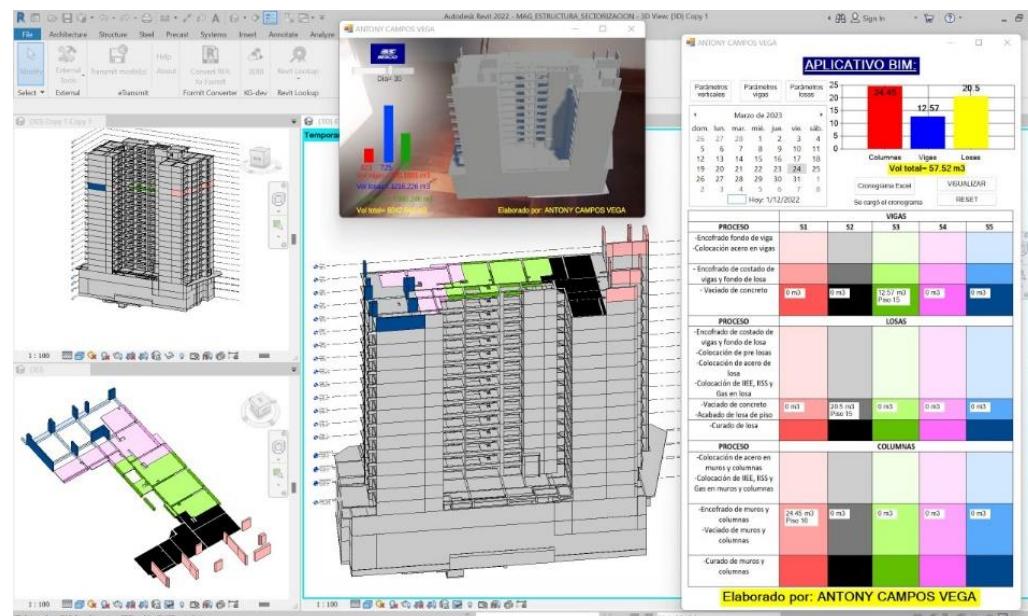


Figura N° 4.112: Información del proceso constructivo linkado al modelo en RV-RA

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.113 se muestra la automatización BIM4D a un proyecto hospitalario con desarrollo propio en el software BIM de Revit.

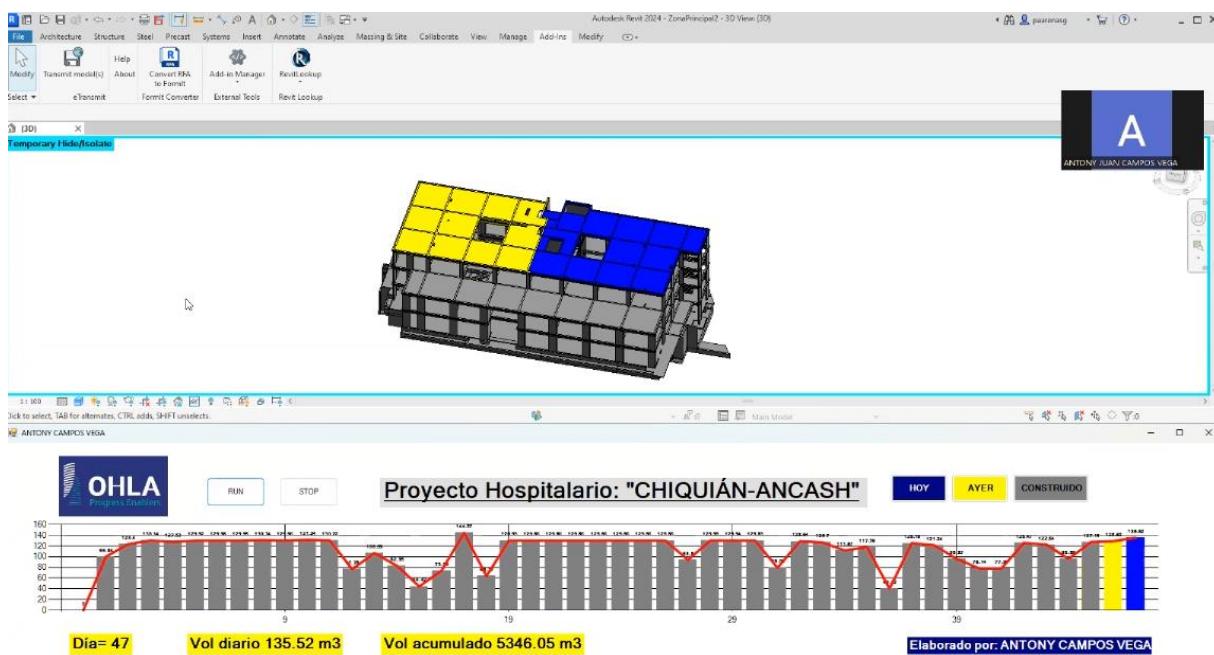


Figura N° 4.113: BIM4D aplicado a un proyecto hospitalario.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4. 114 se muestra el recorrido virtual del proyecto hospitalario en la interfaz de Unity, listo para el desarrollo de la realidad virtual-aumentada.



Figura N° 4.114: Desarrollo de realidad virtual con software Unity.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.115, se muestra la ejecución del aplicativo “BIM RV-RA” para un proyecto de edificación en las especialidades de estructuras, arquitectura, mecánica, eléctrica, sanitaria.

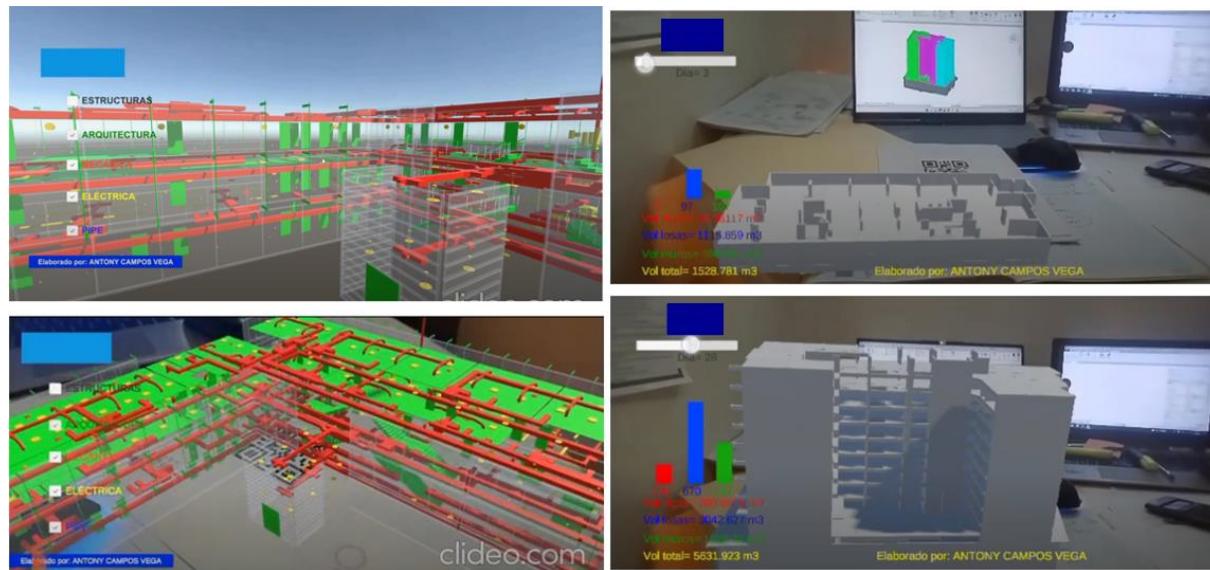


Figura N° 4.115: Ejecución del aplicativo “BIM RV-RA”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.116 se muestra el modelo RA siguiendo un proceso constructivo planteado en el cronograma de obra.

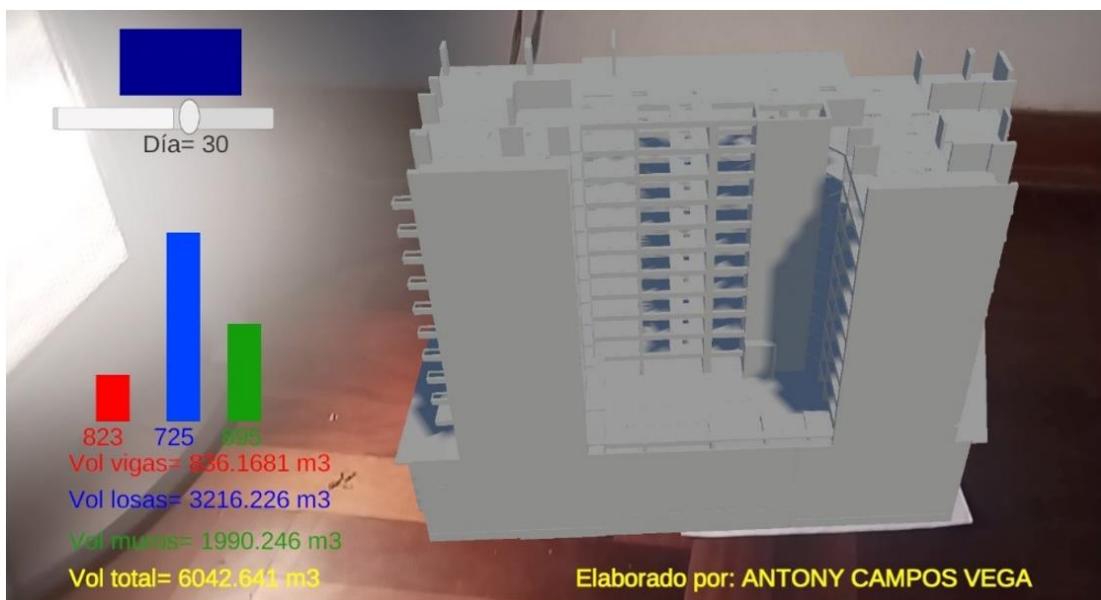


Figura N° 4.116: Modelo RA siguiente el proceso constructivo del modelo BIM

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.117, se muestra el modelo BIM en realidad aumentada (RA) en escala real.

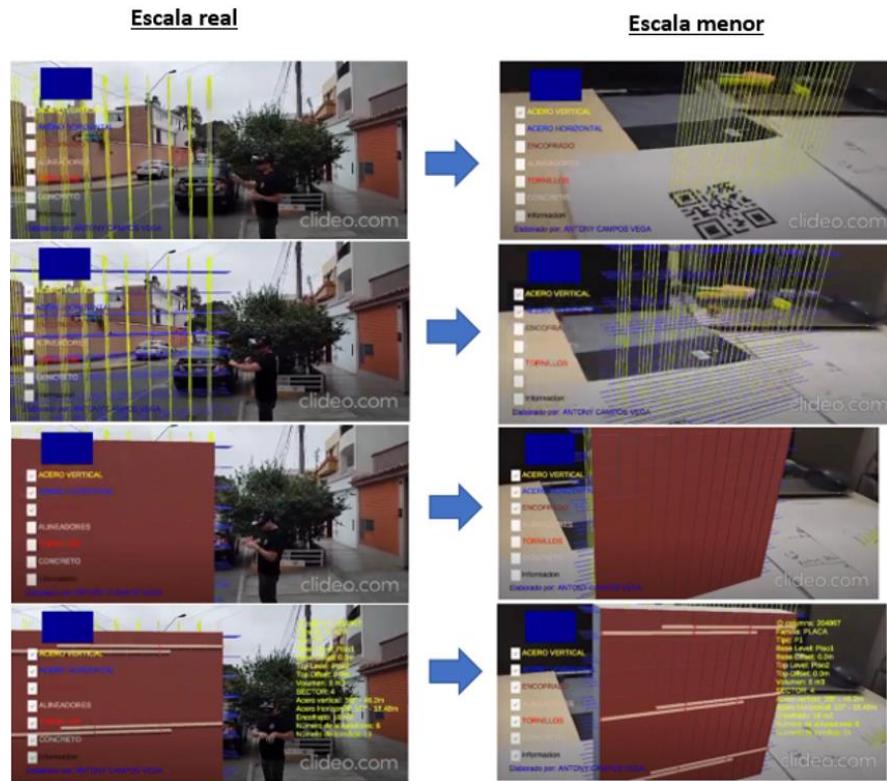


Figura N° 4.117: Modelo de RA en escala real

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.118 se muestra el desarrollo propio del aplicativo BIM4D-RA CE-1 con descarga directa en el Play Store de Google.

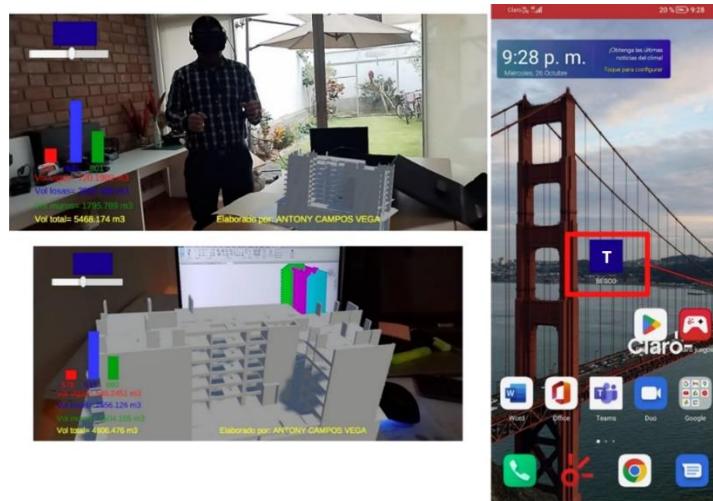


Figura N° 4.118: Aplicativo BIM4D-RA “CE-1”, descarga en “Play Store”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.119 se muestra el uso del aplicativo BIM4D-RA CE-1 directamente en obra con los últimos planificadores.

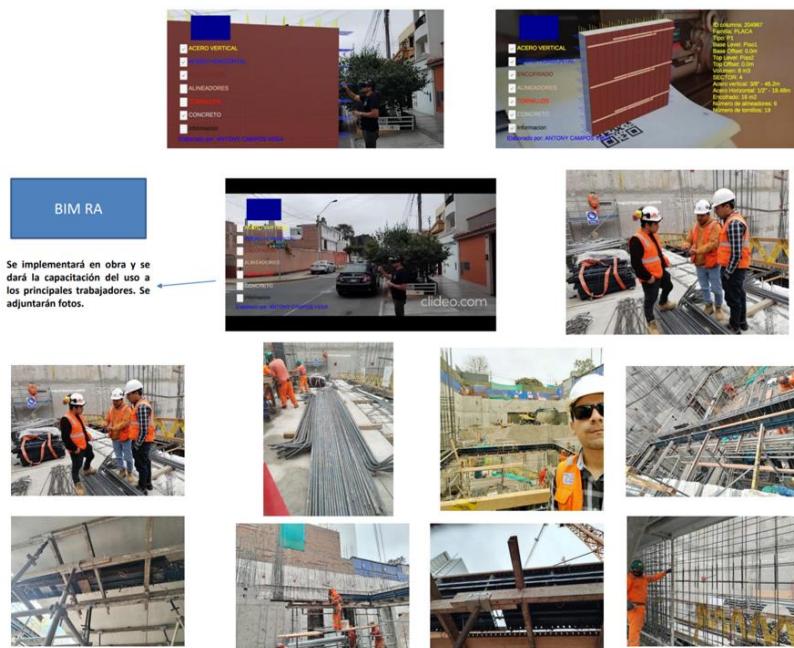


Figura N° 4.119: Uso de aplicativo BIM4D-RA “CE-1”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.120 se muestra el uso de aplicativo BIM4D-RA CE-1 en obra comparándolo con el uso de los planos impresos 2D en obra. La curva de aprendizaje de los últimos planificadores es muy rápida al tener herramientas digitales de fácil manejo “user friendly”.



Figura N° 4.120: Uso de aplicativo BIM4D-RA “CE-1”

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.121 se muestra el modelo BIM de un proyecto hospitalario con el uso de realidad virtual con configuraciones personalizadas lo que permite gestionar la información del proyecto de acuerdo a sus características específicas.

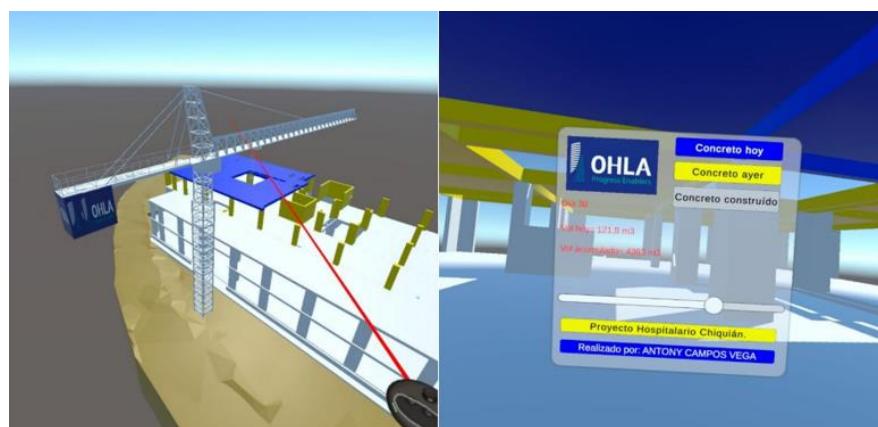


Figura N° 4.121: Modelo BIM con RV.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.122 se muestra el uso de realidad aumentada con las diferentes especialidades de un modelo BIM, con la finalidad de estudiar espacios ergonómicos, posicionamiento, ubicación, encajes.

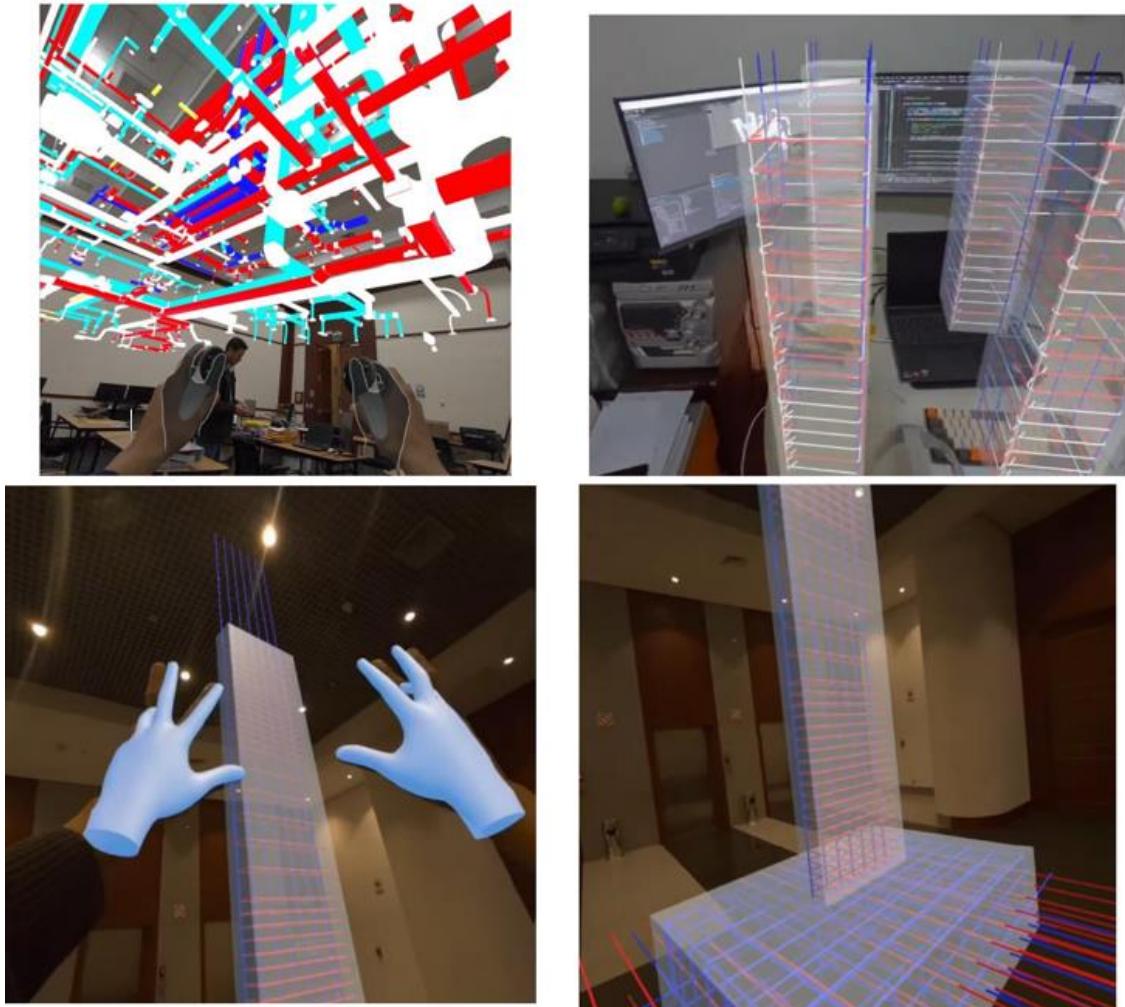


Figura N° 4.122: Modelo BIM con realidad aumentada.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura se muestran 2 lentes de realidad virtual (los 2 primeros de la izquierda) y un lente de realidad mixta (último lente derecha).

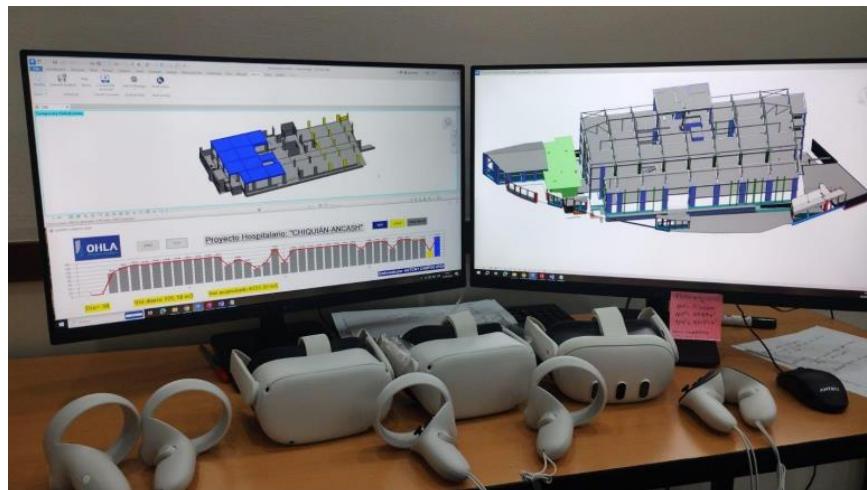


Figura N° 4.123: Lentes de realidad mixta.

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.13 Aplicativo CE2: Optimización del tiempo de desencofrado

Nombre del aplicativo: APPLICATIVO CE2 - “Optimización del tiempo de desencofrado”

##### Problemas a resolver:

Normalmente se viene controlando la calidad del concreto mediante la rotura de probetas.

Estas probetas de 15cmx30cm deben de ensayarse en laboratorios certificados con su respectiva calidad. En algunas ocasiones, cuando el proyecto está lejos de la ciudad o de centros de laboratorio certificados de concreto, se pierden tiempo de espera para ir de un lugar a otro. Los resultados de las probetas se obtienen en condiciones irreales a la obra, ya que las probetas se sumergen por completo en piscinas de agua, cosa que no ocurre con los elementos estructurales de la obra. Se propone como una alternativa a las roturas de probetas en obtener tener la data en tiempo real y en condiciones reales.

Producto de la hidratación del cemento, que es un proceso exotérmico, se generan grandes temperaturas a edades tempranas en concretos masivos, generando minerales sulfato ettringita generando grietas luego del fraguado, pérdida en la trabajabilidad, consistencia,

agua, por lo que su control y monitoreo debe de ser gestionado entre sus diferentes fases del concreto: “dosificación-producción-entrega-colocación-consolidación-acabado-curado”. Una forma de solucionar este problema es mediante la implementación del sensor BIM-ARDUINO-IoT que se desarrolla en esta tesis. El método de la curva de madurez o simplemente, método de madurez del concreto, se publica en la norma C1074 de la ASTM (American Society for Testing and Materials) y es usado en construcción para estimar los efectos de la temperatura-tiempo para la obtención de la resistencia del concreto, siendo un método no destructivo. Esto es, teniendo el historial de temperaturas, el área debajo de la curva, obtiene la estimación de la resistencia.

Descripción:

¿Qué herramienta se propone el desarrollo de esta tesis?

Se diseñó y programó un sensor, que vinculado al modelo BIM programado en la nube, muestre en tiempo real la información de temperatura, para que luego, mediante el método de la “Curva de madurez” se estime la resistencia del concreto en condiciones reales.

Alcances:

- 1) Sensor resistente al agua y a altas temperaturas.
- 2) Fácil instalación.
- 3) Los sensores consumen baja energía, por lo que su alimentación se da a través de una batería DURACELL de 9V, cuyo precio ronda entre 15-17 nuevos soles con una duración de 3 meses aproximadamente.
- 4) Aplicable a cualquier versión de Revit.
- 5) Tecnología inalámbrica ya sea por Bluetooth o Wifi.
- 6) Obtención de la temperatura en tiempo real.

- 7) Se puede obtener la temperatura a diferentes intervalos.
- 8) Se puede guardar todo el historial de temperaturas en el disco duro a través de programación PHP en diferentes unidades métricas y/o imperiales.
- 9) Amigable con el medio ambiente, ya que evita el desperdicio generado por la rotura de probetas.
- 10) Obtener la resistencia del concreto en base al método de la curva de madurez.
- 11) Sensor compatible con sensores de temperatura DTH11, DTH22, DS18B20.
- 12) Sensor de bajo presupuesto.

Inputs requeridos:

- 1) Modelo Revit del casco estructural y programado en la nube.
- 2) Tener mapeado los procesos del funcionamiento del sensor.

Limitaciones:

- 1) No tiene ninguna limitación con respecto a la compatibilización con cualquiera de las versiones de Revit.
- 2) No tiene limitación en la conectividad inalámbrica ya que funciona con sensores de Bluetooth y/o wifi.
- 3) Se limita a proyectos BIM programados en la nube con una estructura de página web “cliente-servidor” creado en esta investigación y no a Autodesk Forge (página web BIM realizada por Autodesk). Es decir, en esta investigación, se está creando una página web BIM en donde se sube el modelo y la data de los sensores se actualiza en tiempo real.

En la siguiente Tabla 4.10, se muestra el proceso de ejecución del aplicativo CE-2.

Tabla N° 4.20: Procesos de ejecución aplicativo CE-2

Paso	Descripción
Paso 1	Figura 3.127: Roadmap BIM-IA-Arduino-IoT.
Paso 2	Figura 3.128: Modelo BIM programado en la nube.
Paso 3	Figura 3.130: Mapeo de procesos 1.
Paso 4	Figura 3.131: Mapeo de procesos 2.
Paso 5	Figura 3.132: Elementos a usar para el sensor.
Paso 6	Tabla 3.24: Lista precios vs precios en Alibaba
Paso 7	Figura 3.135: Realizar la programación del sensor Bluetooth mediante comando AT.
Paso 8	Figura 3.136: Ensamblar el prototipado de los sensores de Bluetooth, temperatura, micro SD a la placa Arduino mediante el siguiente diagrama.
Paso 9	Figura 3.138: Se procede con el emparejamiento del sensor 3 y sensor 4 con la laptop.
Paso 10	Figura 3.139: Una vez ensamblado el sensor introducirlo en un prototipo de losa de concreto.
Paso 11	Figura 3.141: Abrir "XAMPP Control" y activar "Apache" y "MySQL" para activar "phpMyAdmin".
Paso 12	Figura 3.142: Abrir mi "phpMyAdmin" y crear la tabla en la cual se guardará toda la información de temperaturas.
Paso 13	Figura 3.144: Ejecución del aplicativo "CE-2".
Paso 14	Figura 3.145: Aumento de la temperatura.
Paso 15	Figura 3.146: Exportando la información a Excel para su posterior procesamiento de los datos obtenidos mediante el método de la curva de madurez.
Paso 16	Figura 3.152: Verificar el riesgo de que los sensores estén fallando.
Paso 17	Figura 3.154: Visualización de los resultados en un cuadro de mandos mediante internet.

Ejecución paso a paso del aplicativo APPLICATIVO CE2 - "Optimización del tiempo de desencofrado"

La mejor forma de diseñar proyectos de alto rendimiento (usable, sostenible, construible y operable) es anticipándose y prediciendo su comportamiento. La mejor forma de predecir el comportamiento de un proyecto de ingeniería es a través de los "prototipos". Estos prototipos pueden ser reales y/o digitales. Los prototipos reales son las maquetas en menor escala que servirán como base para la instalación de sensores, cuya data en tiempo real permitirá realizar un análisis energético, temperatura, flujo y dirección del aire para temas de ventilación, impacto de contaminación sonora, etc. Los prototipos virtuales como lo es un modelo BIM,

permitirán hacer un análisis de constructibilidad, costos, calidad, cronogramas, a través de diferentes simulaciones. Primero se deben de realizar los prototipos virtuales, porque a través de estos se realizan los prototipos reales-maquetas que obtendrán la información en tiempo real a través de sensores que serán enviadas nuevamente al prototipo virtual para su respectiva actualización, es decir, debe de existir una comunicación bidireccional entre los dos prototipos. Los prototipos ayudan a entender perfectamente el alcance del proyecto, generando una organización integrada, es decir, el equipo del proyecto entiende qué es lo que se va a construir y cómo se va a construir, optimizando no solamente el edificio, sino los procesos para crearlo. Esto es una “Entrega Integrada de Proyecto” conocido como IPD (Integrated Project Delivery, por sus siglas en inglés) que permitirá integrar procesos, organización y productos reales para crear edificios de alto rendimiento. IPD es hacer VDC con un acuerdo de integración en todas las partes y VDC es una forma de diseñar, construir y gestionar proyectos en un ambiente digital utilizando metodologías y herramientas tecnológicas existentes y modernas. Véase la Figura 4.124.

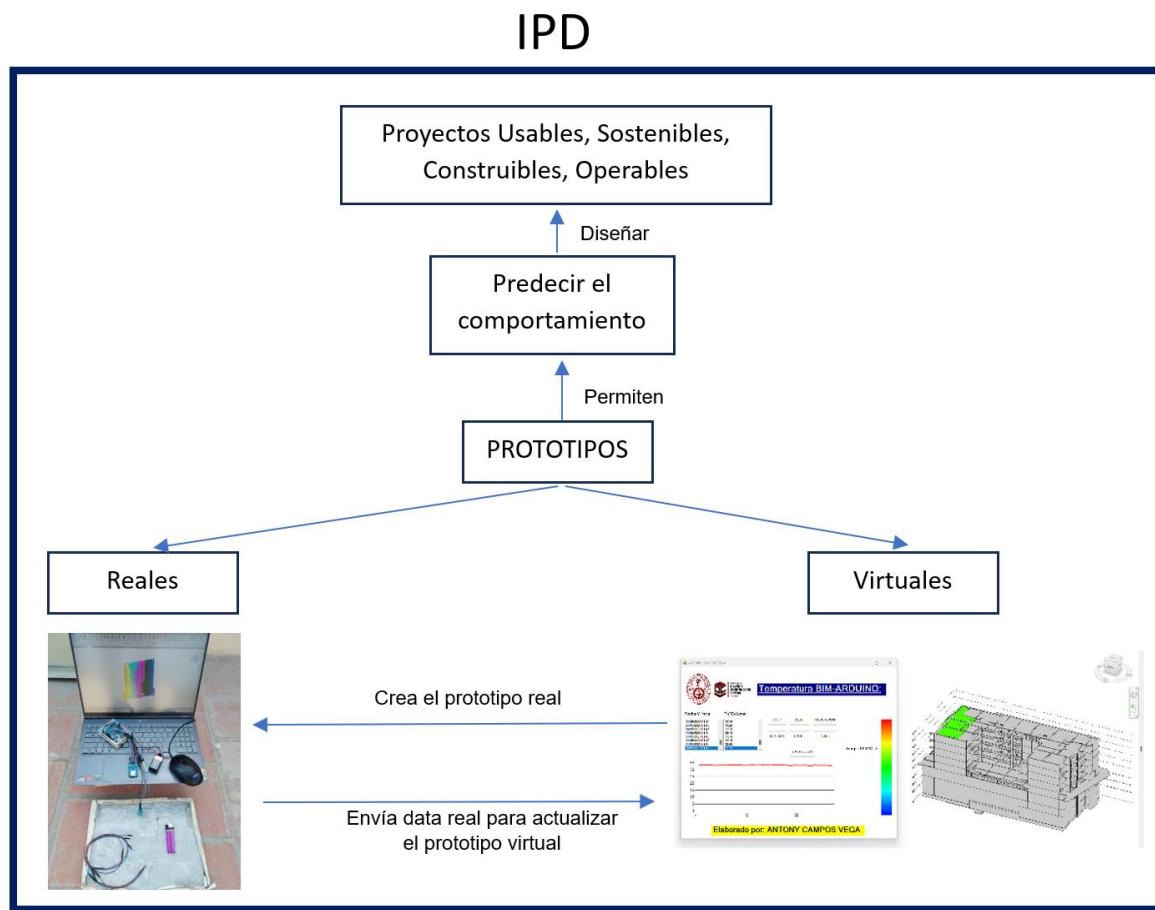
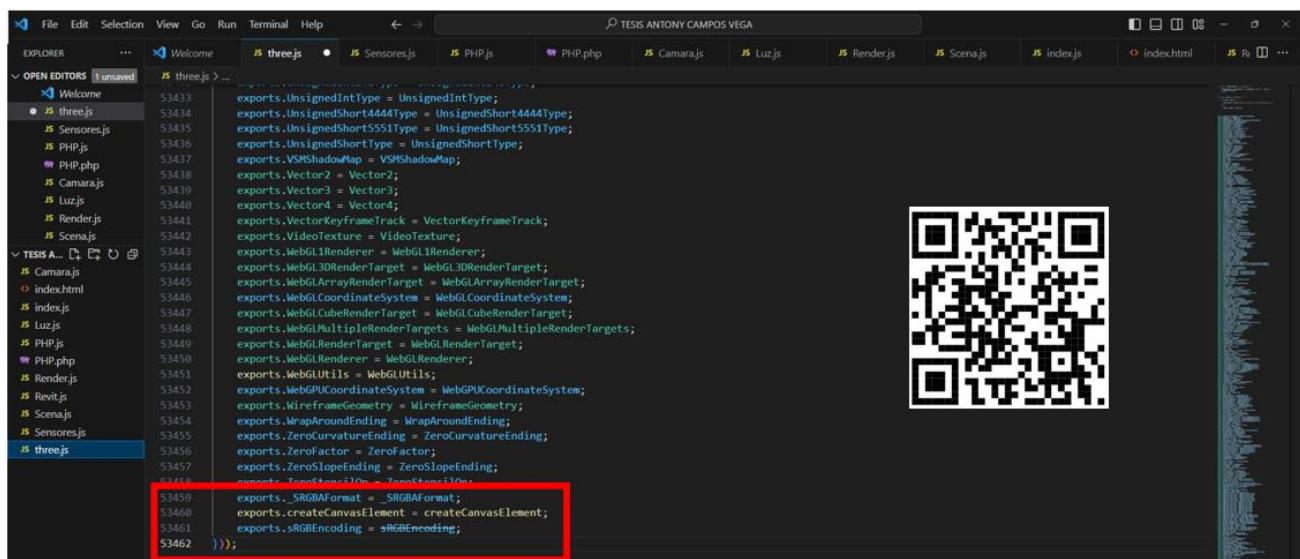


Figura N° 4.124: Proyectos de alto rendimiento-desempeño

(Fuente: Elaboración propia)

Para integrar los procesos tanto para el desarrollo del prototipo virtual como del prototipo real y generar un “sistema integrado”, se diseñó un flujo de procesos: “BIM-IA-ARDUINO-IoT”. Para los procesos relacionados al desarrollo del prototipo virtual se hizo uso de las automatizaciones de modelado descritas en esta investigación anteriormente, para luego proceder a programarlo en la nube con opciones y gráficas especiales (motivo por el cual se decidió no usar Autodesk Forge) que permita gestionar y obtener la data en tiempo de real por parte de los sensores. Para esto, al inicio se hizo uso de un servidor local como “XAMPP” como una táctica para generar un “prueba-error” y evitar desgastar tiempo en subirlo directo a

una nube, para luego, al ver que el funcionamiento es el correcto, proceder a crear nuestro propio servidor haciendo uso de Express.js y subirlo a la nube. Se usó la librería “three.js” más conocida como el “3D en JavaScript”. Esto con la finalidad que nuestro modelo BIM esté actualizado con data en tiempo real, todo en un entorno de “Internet of Things” en la cual, cualquier stakeholder del proyecto tenga acceso a dicha información a través de la nube en cualquier momento del día. Véase la Figura 4.125.



```

File Edit Selection View Go Run Terminal Help
OPEN EDITORS 1 unsaved
Welcome 53433
three.js 53434
Sensors.js 53435
PHP.js 53436
PHP.php 53437
Camarajs 53438
Luz.js 53439
Renderjs 53440
Scenajs 53441
Scenajs 53442
Scenajs 53443
Scenajs 53444
Scenajs 53445
Scenajs 53446
Scenajs 53447
Scenajs 53448
Scenajs 53449
Scenajs 53450
Scenajs 53451
Scenajs 53452
Scenajs 53453
Scenajs 53454
Scenajs 53455
Scenajs 53456
Scenajs 53457
Scenajs 53458
Scenajs 53459
Scenajs 53460
Scenajs 53461
Scenajs 53462
  );
  exports._SRGBAFormat = _SRGBAFormat;
  exports.createCanvasElement = createCanvasElement;
  exports.sRGBEncoding = sRGBEncoding;
}

```

Figura N° 4.125: Librería “three.js” contiene 53,462 líneas de código

(Fuente: [threejs.com/documentation](http://threejs.com/documentation))

En la siguiente Figura 4.126, se muestra el roadmap o flujo de procesos para la implementación de BIM-IA-Arduino-IoT en proyectos de ingeniería-construcción.

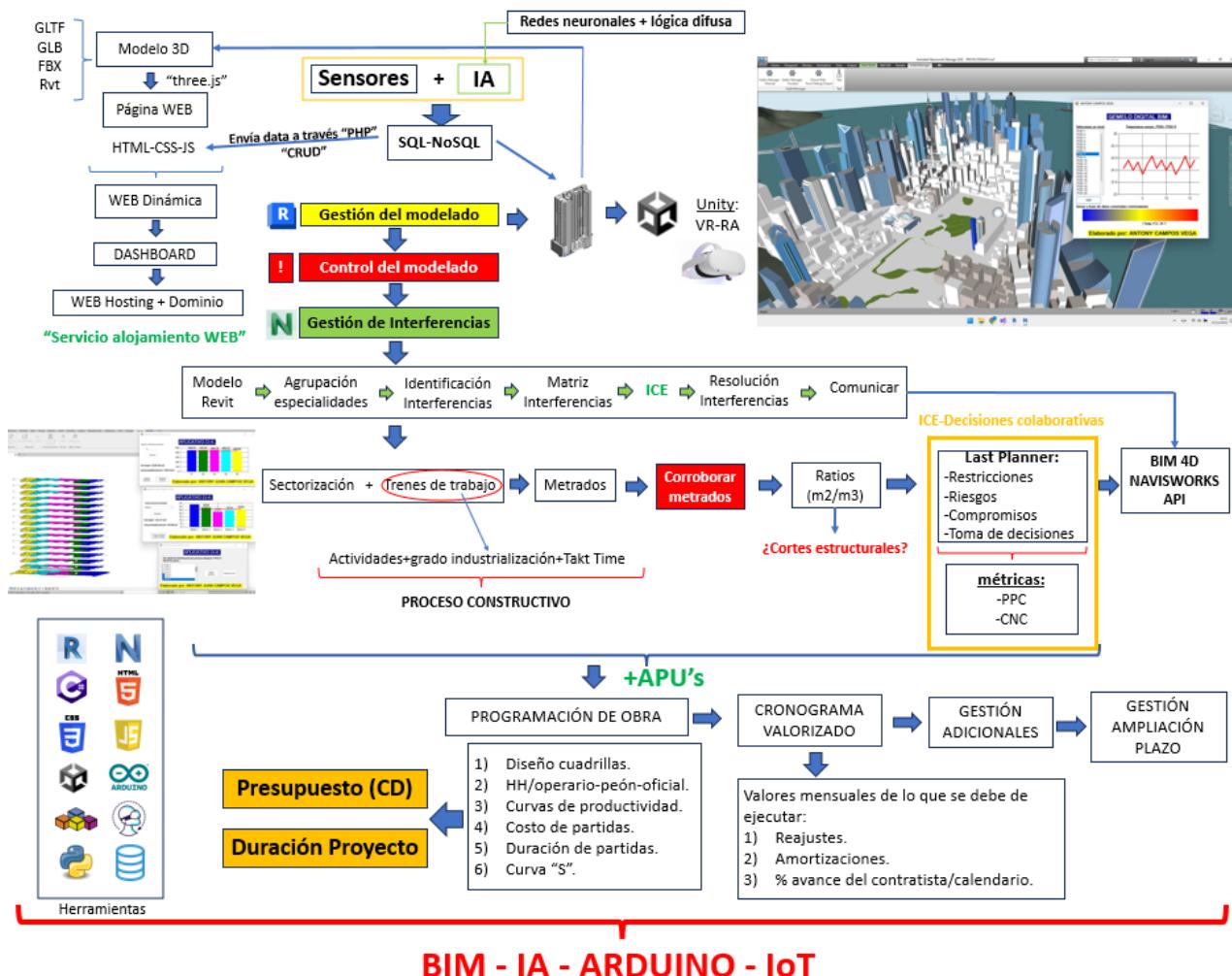


Figura N° 4.126: Roadmap para la implementación BIM- IA- Arduino- IoT.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.127, se muestran los logos de los diferentes lenguajes tanto de programación como de etiquetado, frameworks y entornos de ejecución, por ejemplo, node.js, usados en el desarrollo de esta tesis de investigación.

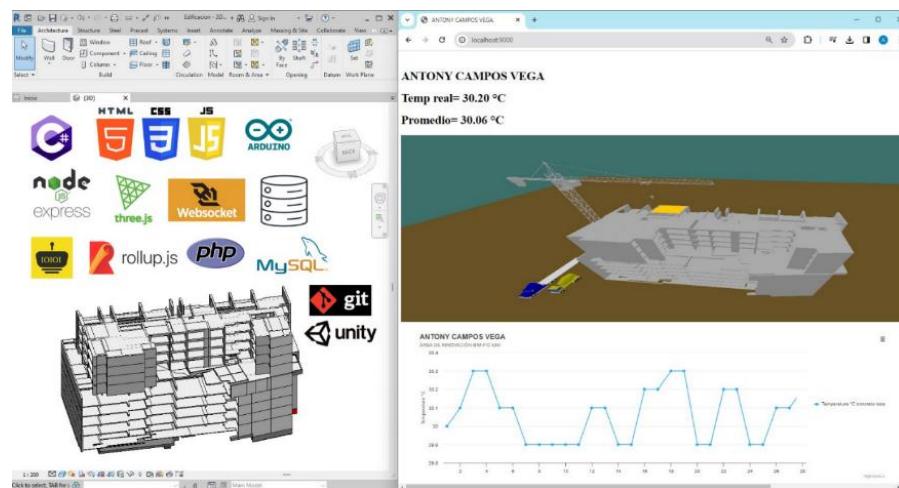


Figura N° 4.127: Herramientas usados en la tesis

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.128, se muestra un modelo BIM programado en la nube (izquierda)

tomando como base el modelo BIM en Revit programado con su API en C# (derecha).

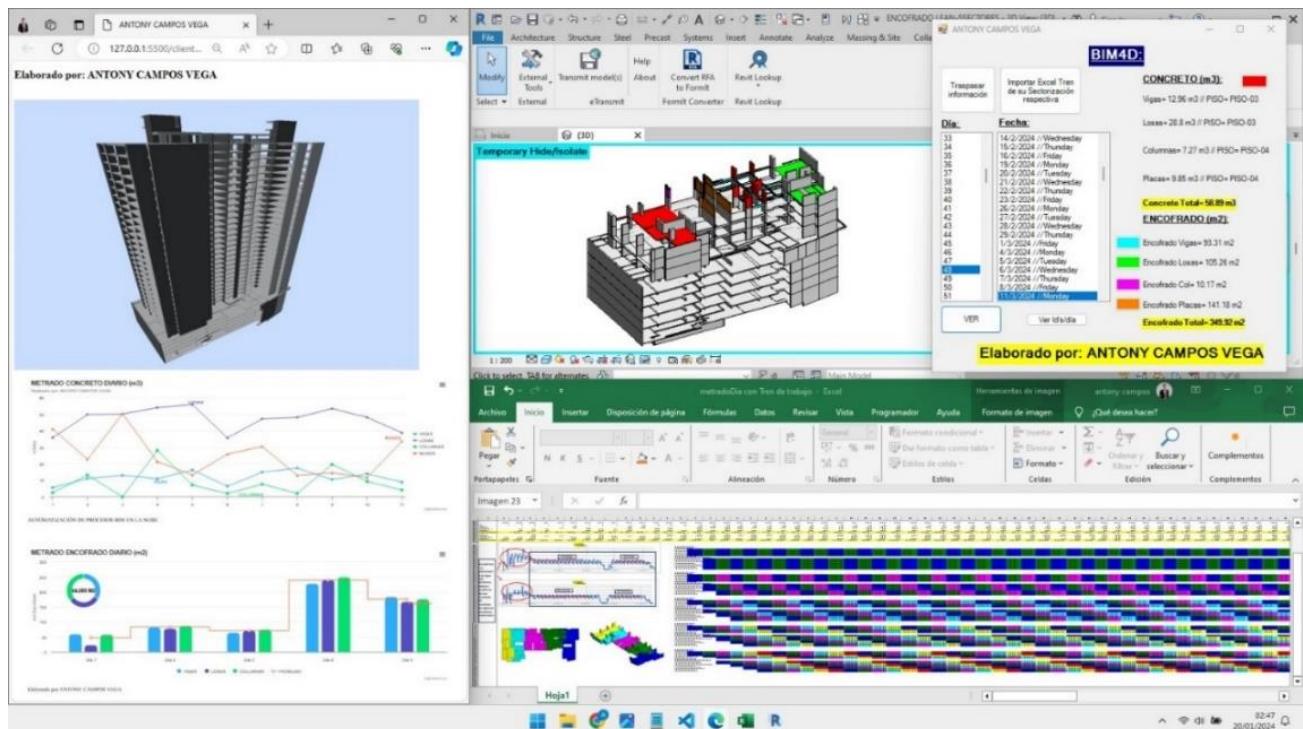


Figura N° 4.128: Modelo BIM en la nube y escritorio.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.129, se muestra un grupo de procesos #1, relacionados al desarrollo del prototipo real con sensores, se diseñó el siguiente flujo de procesos para su posterior diseño y ensamblado.

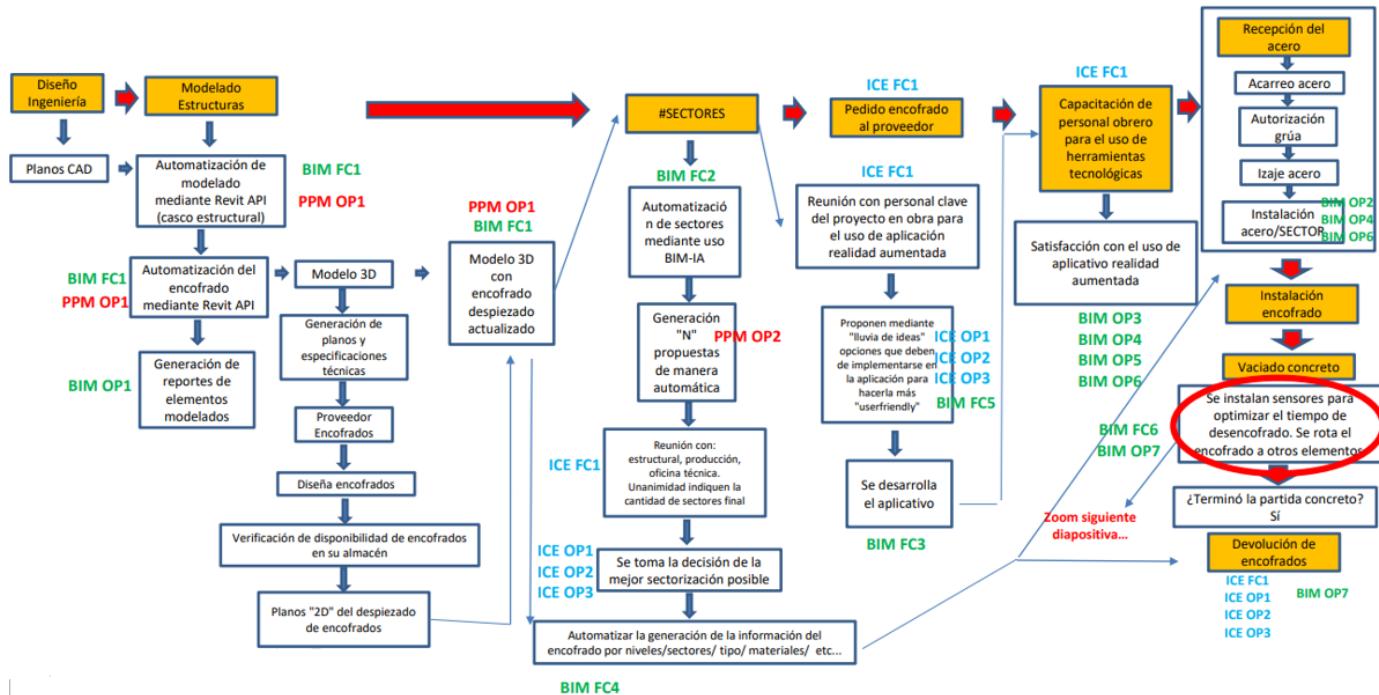


Figura N° 4.129: Mapeo de procesos 1

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.130, se muestra un grupo de procesos #2, relacionados al control del prototipo real con sensores, se diseñó el siguiente flujo de procesos para su posterior diseño y ensamblado.

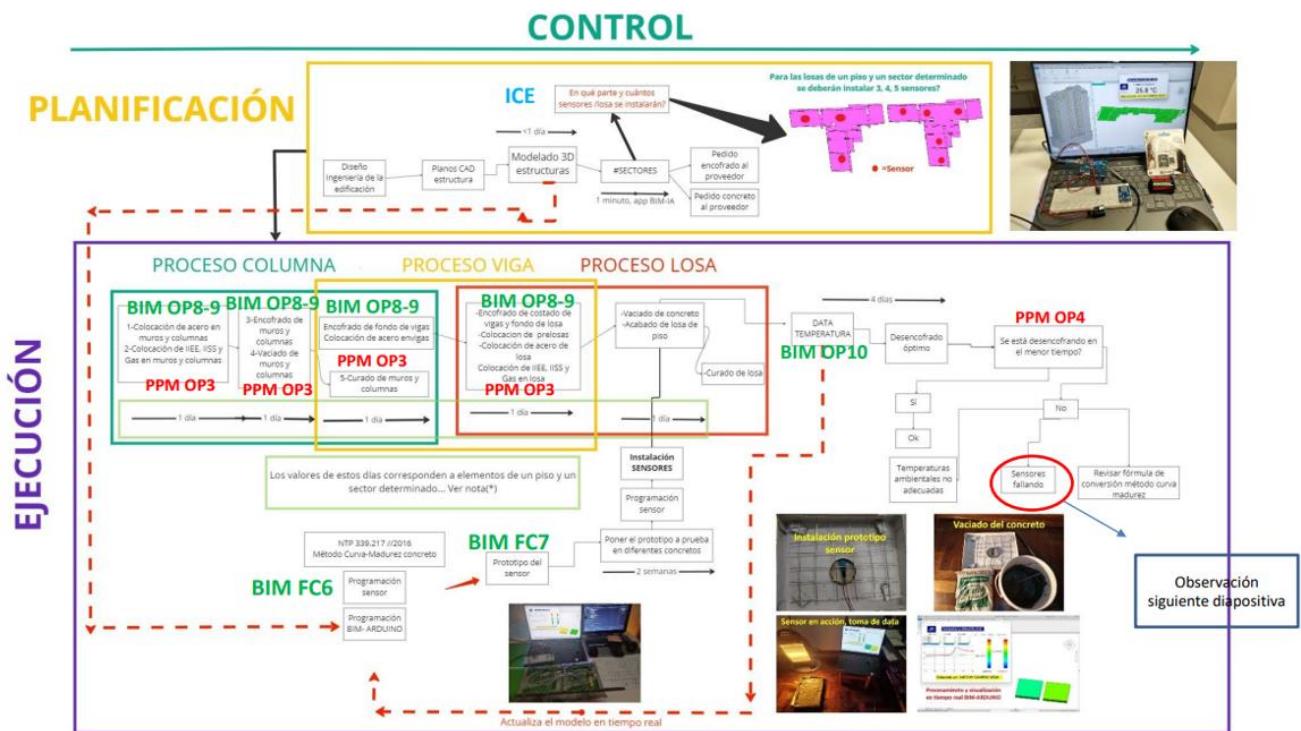


Figura N° 4.130: Mapeo de procesos 2

(Fuente: Elaboración propia)

Se procede a identificar los componentes que formarán parte del diseño y ensamblado del sensor para los procesos del prototipo real y desarrollo del aplicativo “CE2”. Los precios de cada sensor se detallan en la tabla de precios tanto por unidad como al por mayor. Véase Figura 4.131.

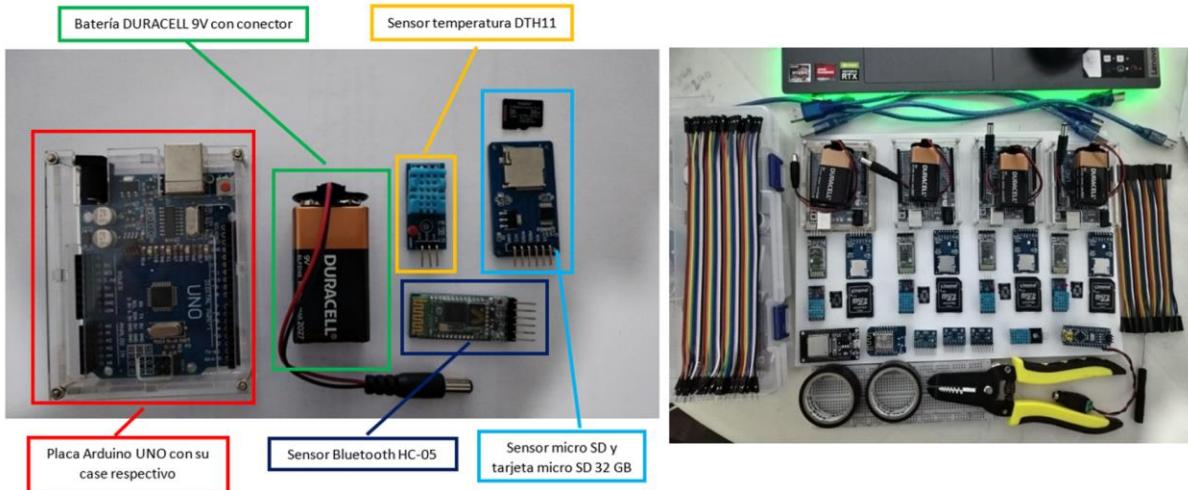


Figura N° 4.131: Identificación de sensores a ensamblar

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Tabla 4.21, se muestra un resumen de los costos unitarios de implementos Arduino.

Tabla N° 4.21: Resumen costos unitarios de implementos Arduinos

Elemento	Compra en Paruro	ALIBABA
Placa Arduino	S/. 60	S/. 13.42
Módulo BlueTooth HC-05	S/. 30	S/. 7.21
Sensor temperatura DTH-11	S/. 12	S/. 2.48
Sensor micro SD	S/. 8	S/. 2.48
Tarjeta SD	S/. 21 (32GB)	S/. 1.49 (64GB)
1 batería DURACELL	S/. 15	S/. 12
1 conector de batería	S/. 2.50	S/. 0.50
Juego cables jumper	S/. 6	S/. 2.0
1 Case	S/. 7	S/. 1
	<b>S/. 161.50</b>	<b>S/. 42.58</b>

Para el diseño del prototipo real, se puede optar por sensores de temperatura más sofisticados que permita sumergirse por completo en fluidos, como, por ejemplo, el concreto. Al inicio se hizo uso del sensor DTH11 como una forma de prueba-error. En la siguiente Figura 4.132, se

muestra un sensor de temperatura DTH11 (lado izquierdo) y un sensor DS18B20 (lado derecho)



Figura N° 4.132: Sensores de temperaturas.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Tabla 4.22, se muestran las principales diferencias entre el sensor de temperatura DTH11 vs DS18B20.

Tabla N° 4.22: Diferencia entre sensores de temperaturas

Especificaciones	DTH11	DS18B20
Voltaje de operación	3.0V – 5.5V DC	3V - 5V DC
Rango de medición de temperatura	0 a 50 °C	-55°C hasta +125°C
Precisión de medición de temperatura	±2.0 °C	-10°C hasta +85°C: ±0.5°C.
Dimensiones	16*12*5 mm	D5mm*L50mm
Peso	1 gramo	23 gramos

En la siguiente Figura 4.133 se muestra que el sensor DTH1 no es sumergible en cualquier fluido, y está formada por una carcasa de plástico celeste que no es muy resistente a altas temperaturas. Sin embargo, El sensor DS18B20 está formado por un tubo de acero inoxidable resistente a altas temperaturas y sumergible en cualquier tipo de fluido, por ejemplo, en el concreto.

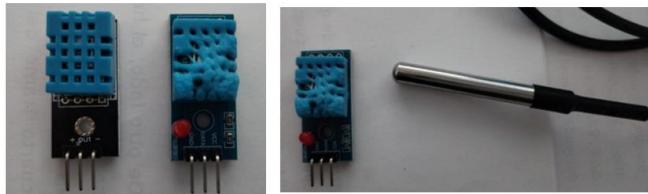


Figura N° 4.133: Sensoresantes y después de ser sometido a altas temperaturas.

(Fuente: Elaboración propia)

Dado que, en el desarrollo de esta investigación, se usará y programará tanto en software-hardware, se deben de hacer algunas modificaciones a los dispositivos hardware para su correcta comunicación. El sensor de Bluetooth/ Wi-Fi tiene incorporado una serie de comandos para poder comunicar y poder configurar el puerto serie respectivo hacia la laptop, celular Android, Tablet, etc. Esto se realiza mediante comandos “AT”, que significan “**attention**”. En la siguiente Figura 4.134, se muestra la programación del sensor BlueTooth mediante comandos AT y se muestran los principales comandos AT.

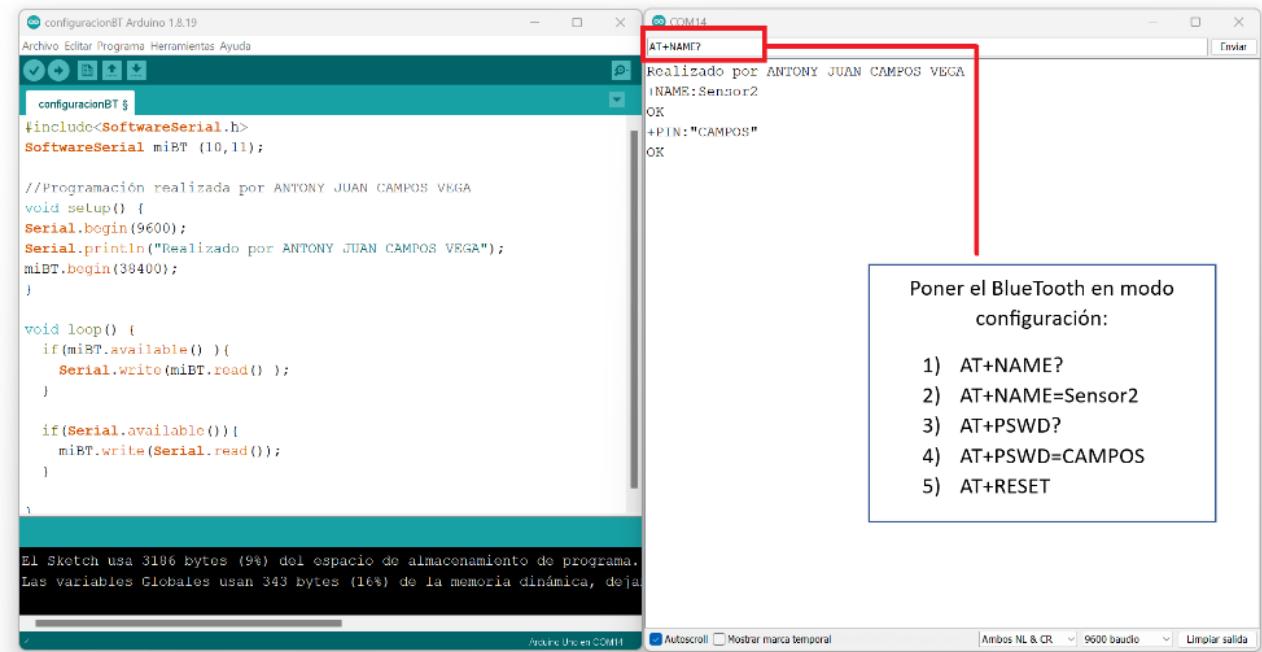


Figura N° 4.134: Programación del sensor Bluetooth mediante comando AT.

(Fuente: Elaboración propia)

Antes de realizar el ensamblado en físico, se procedió a realizarlo de manera virtual, esto con la finalidad de tener una vista general de todos los instrumentos que realmente se necesitarán para el respectivo ensamblado. Se hizo uso de sensores Bluetooth, sensor de temperatura DTH11 o DS18B20, micro SD, placa Arduino UNO, cables jumper's. El objetivo de este modelado también es la de poner a prueba del funcionamiento del ensamblado, pero de manera virtual, esto con el fin de evitar cortocircuitos, desconfiguración de la laptop y/o base de datos la cual se está trabajando. Véase Figura 4.135.

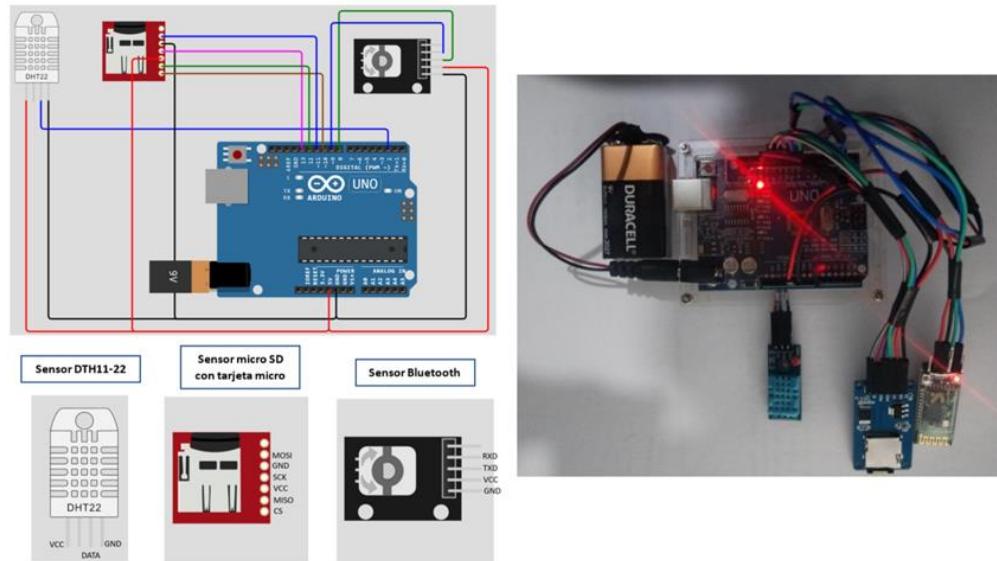


Figura N° 4.135: Ensamblado virtual y real. Elaboración propia

(Fuente: Elaboración propia)

Se recomienda hacer un control sobre el estado actual de los dispositivos. Para esto, lo mejor sería conectar una batería nueva al dispositivo que se usará en el proyecto para la obtención de temperaturas, ya que una batería en mal estado podría estar alimentando a algunos dispositivos, pero no a todos. Por ejemplo, en la siguiente figura, al sensor Bluetooth no le llega la energía requerida (figura izquierda) debido a una batería con poca carga. Al sensor Bluetooth le llega la energía requerida conectada a una batería nueva (figura derecha). Véase Figura 4.136.

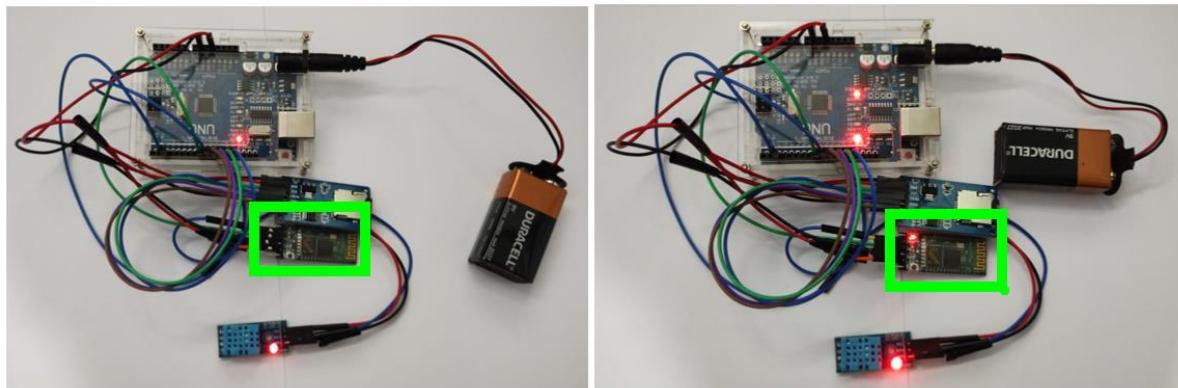


Figura N° 4.136: Recomendación de baterías  
(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.137, se muestra el emparejamiento del sensor 3 y del sensor 4 con la laptop.

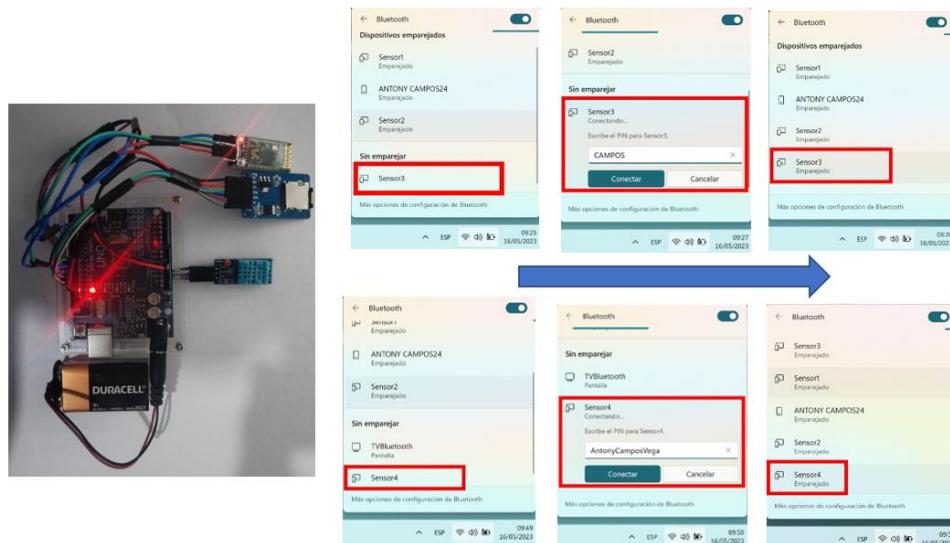


Figura N° 4.137: Emparejamiento de sensores con la laptop.  
(Fuente: Elaboración propia)

Con el correcto funcionamiento virtual del sensor, se procede a realizar el ensamblado y generación del prototipo real. Véase Figura 4.138.

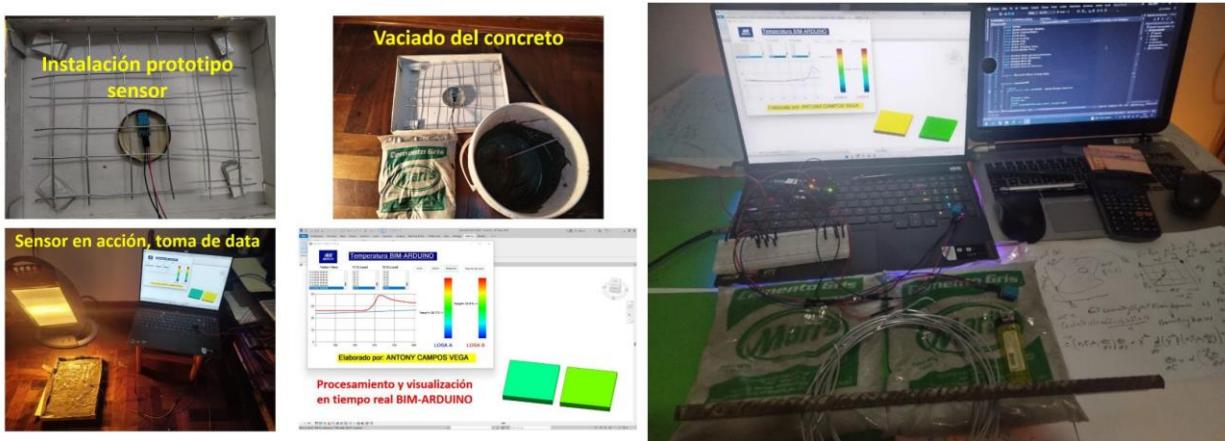


Figura N° 4.138: Sensor introducido en un prototipo de losa de concreto

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.139, se muestra el sensor de temperatura introducido sobre el prototipo de losa de concreto.



Figura N° 4.139: Sensor y prototipo de losa.

(Fuente: Elaboración propia)

“XAMPP” es un servidor local que permite probar el desarrollo web basado en PHP en el propio ordenador sin la necesidad de estar conectado a internet y/o crear un servidor con Node.js o Express.js. Dado que XAMPP es una buena forma de “prueba-error” de visualizar el funcionamiento de la página web, esta forma no posee grandes capacidades para la seguridad de datos, por lo que no es recomendable usarla para grandes ambientes de producción. Cuando se esté seguro que la programación está dando buenos resultados, se procede a crear nuestro propio servidor con Express.js que es una librería de JavaScript. La descarga de XAMP es de fácil acceso, y su instalación es automatizada por parte de su propio asistente de instalación. La ubicación predeterminada es “C:\xampp”. En la siguiente Figura 4.140, se muestra la ruta de acceso al panel de control de “XAMPP”, se procede a activar “Apache” y “MySQL” para subir proyectos PHP a XAMP.

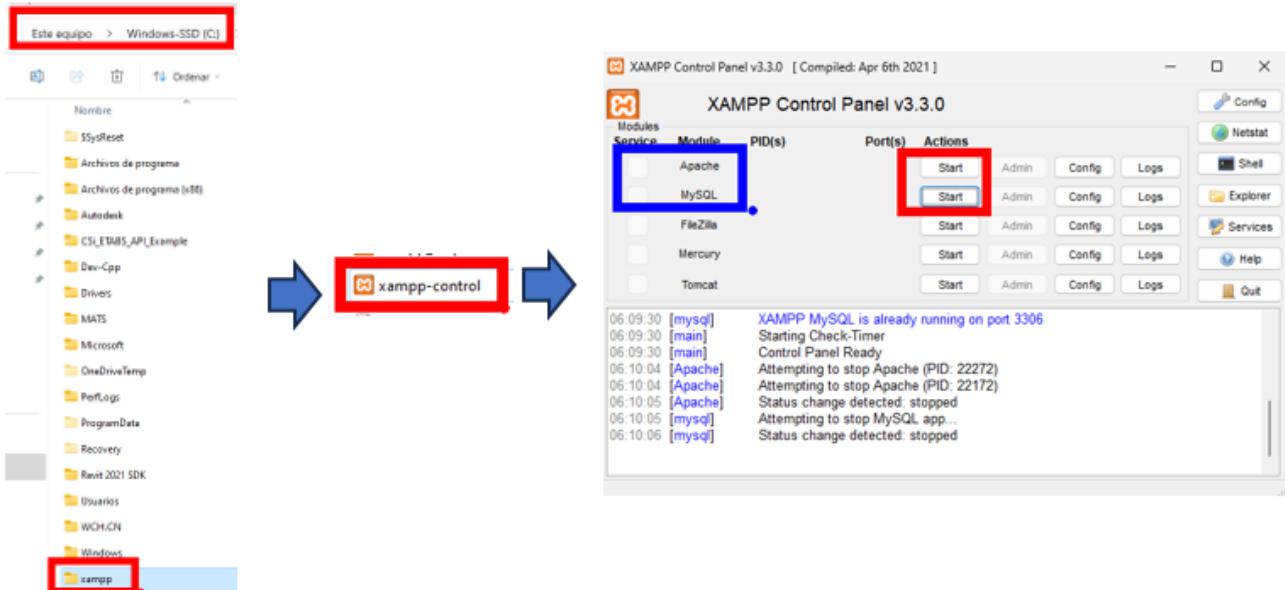


Figura N° 4.140: Ruta de acceso al panel de control de “XAMPP”.

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez activado el “XAMPP” para que se pueda subir los proyectos basados en PHP, se procede abrir cualquier navegador y se digita “localhost”. Ingresar a “phpMyAdmin”. Véase la siguiente Figura 4.141.

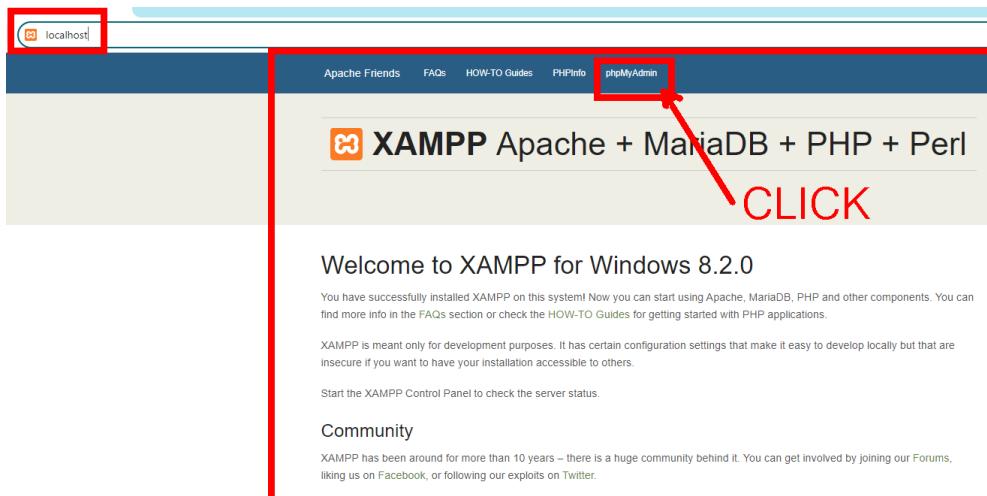


Figura N° 4.141: Ingreso a “phpMyAdmin”

En la siguiente Figura 4.142, se muestra la creación de tablas en la cual se guardará toda la información de temperaturas.

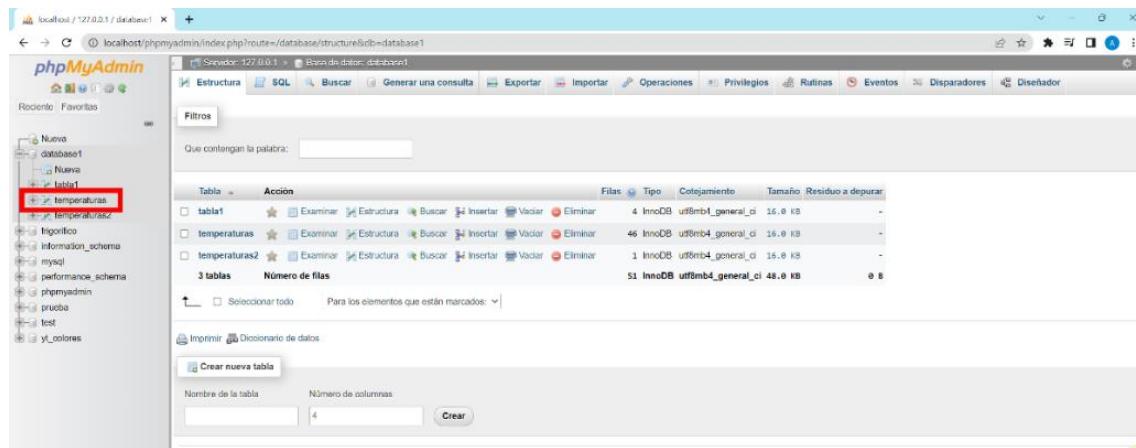


Figura N° 4.142: Información de temperaturas

En la siguiente Figura 4.143, se muestra la ejecución del aplicativo CE-2.

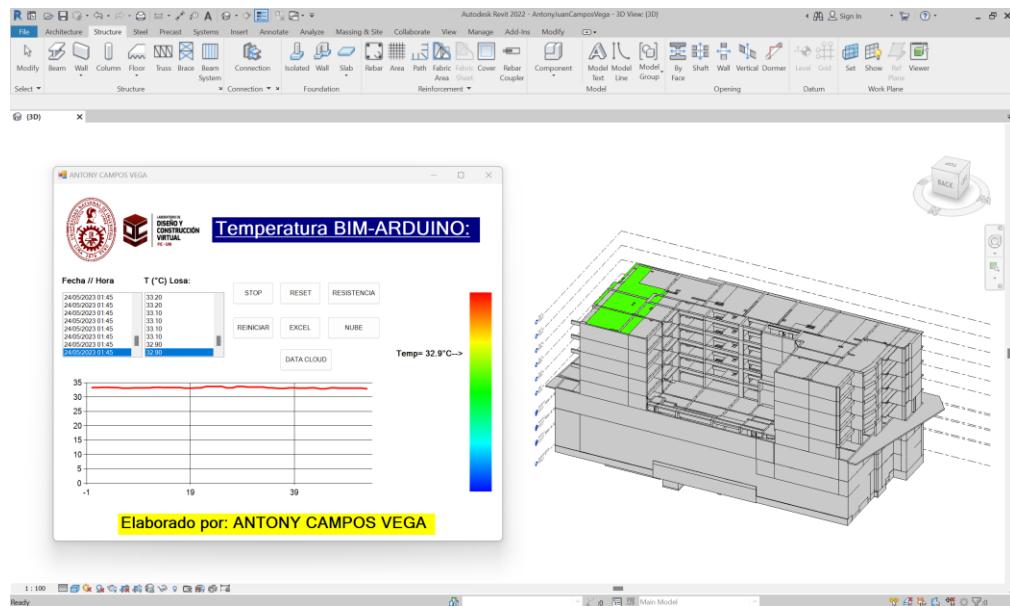


Figura N° 4.143: Ejecución del aplicativo CE2

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.144, se muestra el aumento de temperatura del sensor.

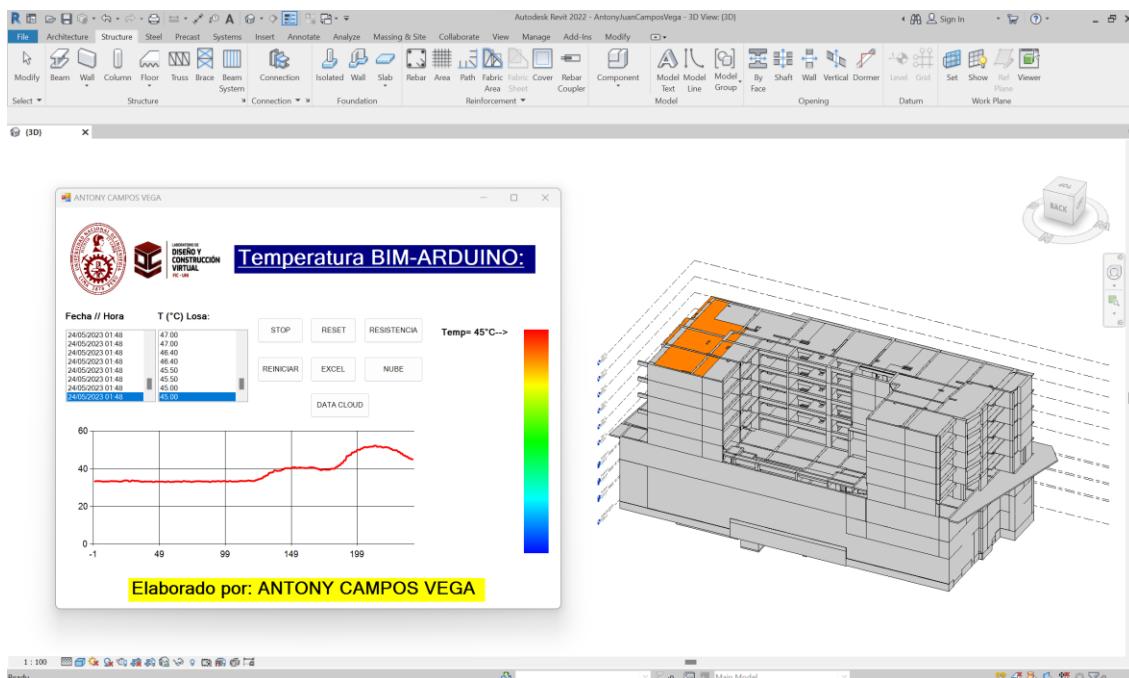


Figura N° 4.144: Aumento de temperatura del sensor

(Fuente: Elaboración propia)

Se procede a exportar la información a Excel para su posterior procesamiento de los datos obtenidos mediante el método de la curva de madurez. Véase la siguiente Figura 4.145.

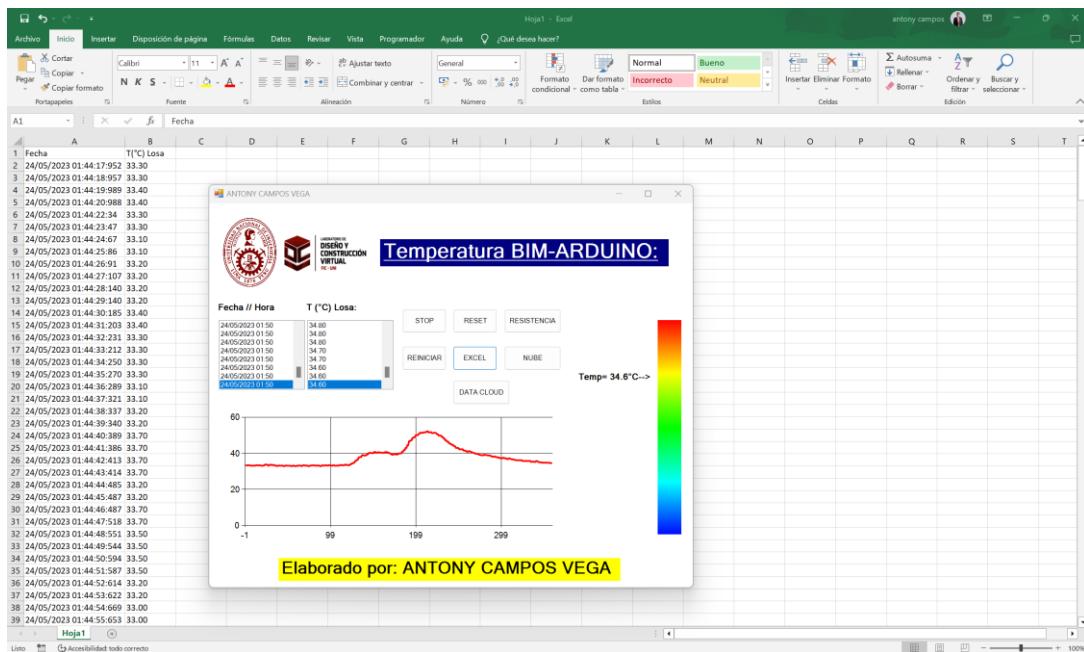


Figura N° 4.145: Exportación de información de temperaturas

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.146 se muestra el mejoramiento del aplicativo con visualización de la información en una página web.

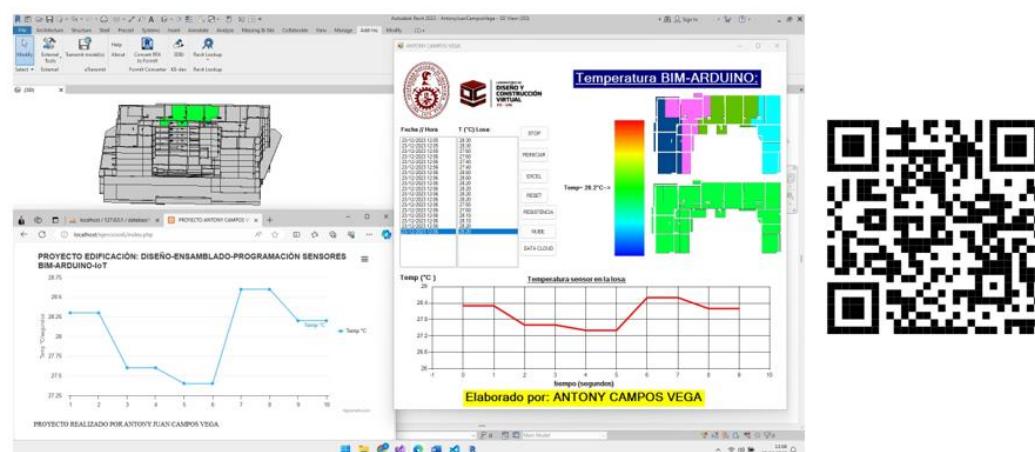


Figura N° 4.146: Visualización de la información en una página web

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.147, se muestra la visualización de los resultados de temperatura en tiempo real a través de un cuadro de mandos dashboard.

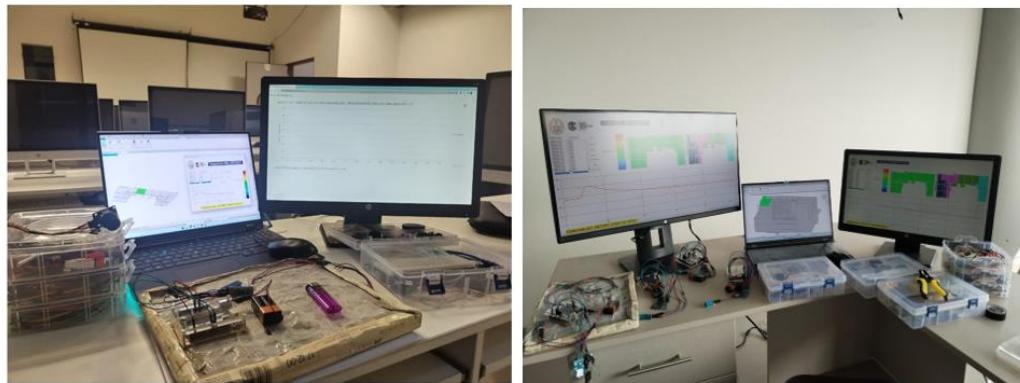


Figura N° 4.147: Dashboard de información de temperaturas.

(Fuente: Elaboración propia)

Una forma de leer la data que se almacena en la memoria interna micro SD, se puede hacer por 2 medios:

- 1) Sacando la tarjeta micro SD y ponerla en una SD.
- 2) Sacando la tarjeta micro SD y ponerla en un USB.

Pero esta forma de lectura no puede ser posible, ya que el sensor quedará embebido completamente dentro de la losa para la lectura de las temperaturas, por lo que se decidió incorporarle un sensor “Bluetooth” o un sensor “Wifi” de tal manera que permita obtener la temperatura de manera inalámbrica.

En la siguiente Figura 4.148, se muestra el almacenamiento y/o lectura de información a través de un Micro SD leída a través de una tarjeta SD o un USB con entrada SD.

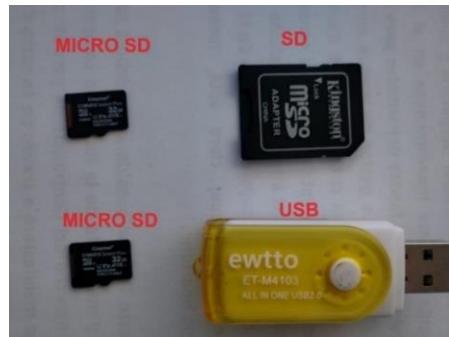
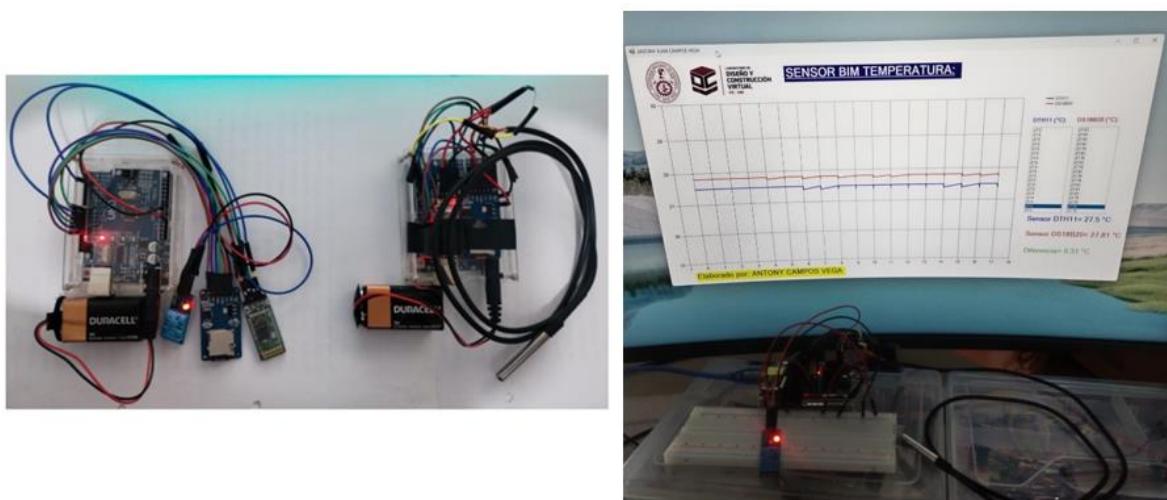


Figura N° 4.148: Almacenamiento y lectura de información.

(Fuente: Elaboración propia)

En un inicio se estaba haciendo uso del sensor “DTH11”. La deficiencia que tiene este sensor que no puede ser sumergible en agua, solo obtiene la temperatura del ambiente, sin embargo, el sensor DS18B20 sí se puede sumergir en cualquier fluido ya que esta trabaja con una termocupla.

En la siguiente Figura 4.149, se muestra el ensamblado y funcionamiento de los sensores DTH11 (lado izquierdo) y el sensor DS18B20 (lado derecho).



En la siguiente Figura 4.150, se muestra la visualización de la diferencia de grados °C entre los sensores DTH11 y DS18B20. En la lectura del código “QR” muestra un video resumen del funcionamiento.

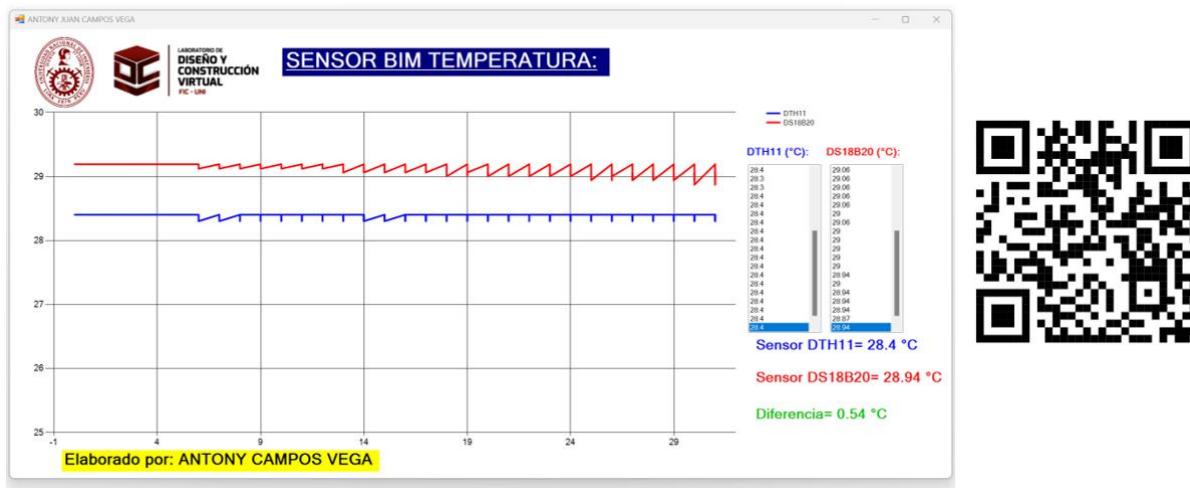


Figura N° 4.150: Diferencia entre los sensores DTH11 y DS18B20.

(Fuente: Elaboración propia)

Un alcance importante dentro de la automatización de la temperatura en tiempo real del concreto a través de los sensores, es la alerta sobre el control de la temperatura, ya que instantáneamente si esta supera alguna temperatura máxima se tendrá la alerta vía un mensaje tanto de texto sms como de whatsapp, que son los medios de comunicación más usados hoy en día. Con esta alerta el ingeniero encargado podría tomar no solamente decisiones en el concreto vaceado sino también en mejorar la calidad del concreto a vacearse en los próximos días, tratando de encontrar el “porqué” del aumento de la temperatura. Véase la siguiente Figura 4.151.

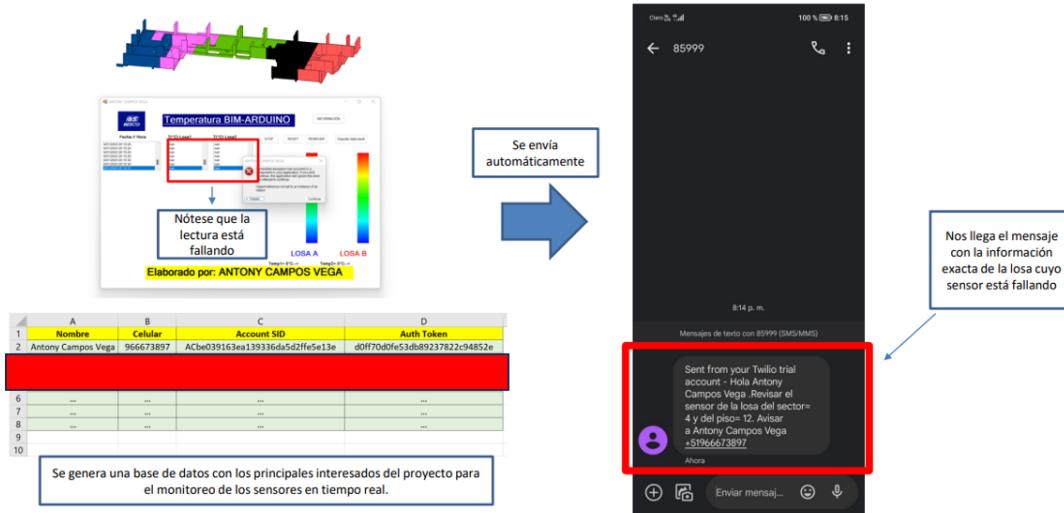


Figura N° 4.151: Control de riesgo de que los sensores estén fallando

(Fuente: Elaboración propia)

Dado que mediante el método de “prueba-error” a través de un servidor “local” funciona correctamente, se procede a crear nuestro propio servidor con “Express.js” que es una librería de JavaScript para el desarrollo de servidores web con la finalidad de poder crear nuestro modelo BIM en la nube y el almacenamiento de la data de los sensores respectivamente. Véase la siguiente Figura 4.152.

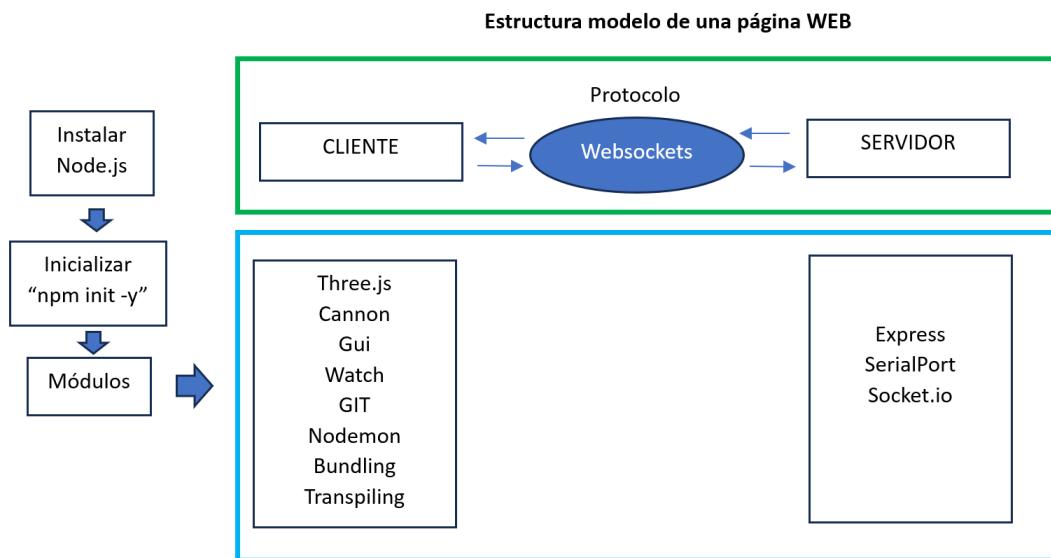


Figura N° 4.152: Estructura de una página WEB y los principales frameworks utilizados

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente Figura 4.153, se muestra la creación del modelo BIM en la nube actualizado en tiempo real con data de los diferentes sensores de temperatura.

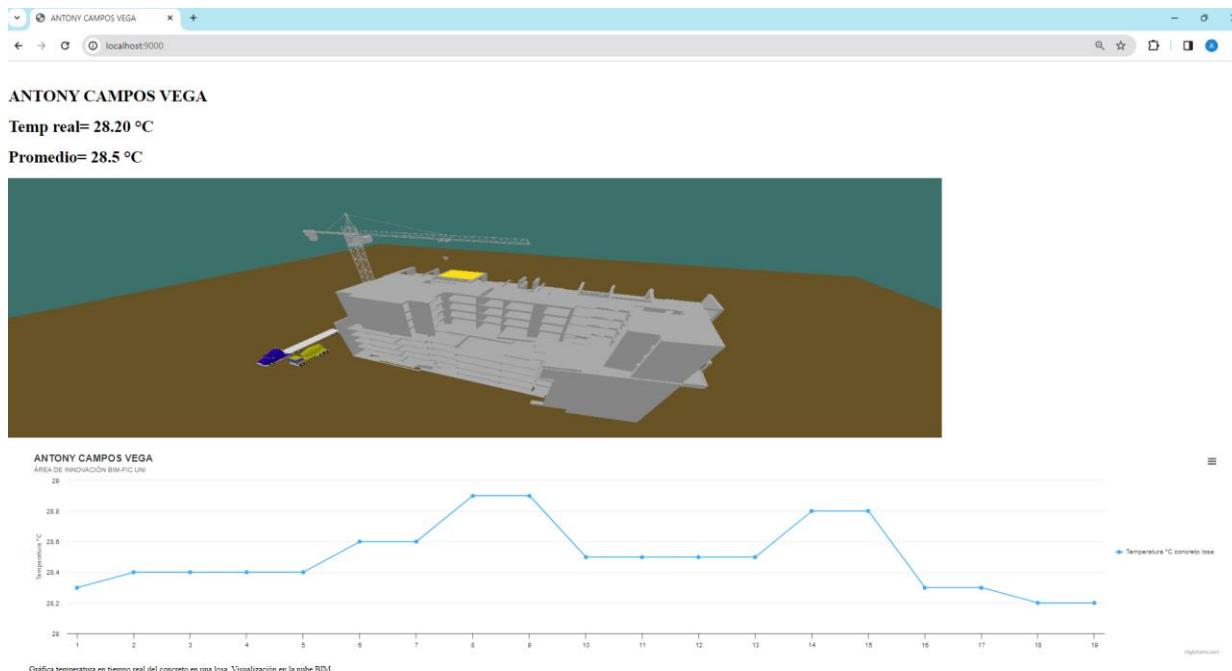


Figura N° 4.153: Modelo BIM en la nube actualizado en tiempo real.

(Fuente: Elaboración propia)

El modelo BIM estructuras, se modela haciendo uso de las automatizaciones descritas en esta tesis. Luego se diseñó una página web BIM en donde se procede a subir el modelo BIM estructuras. En dicha página web BIM no se modelan objetos, es una página en donde solo se suben modelos BIM estructuras y obtiene y actualizada la data por parte de los sensores. En la siguiente Figura 4.154, se muestra el lugar de trabajo para el desarrollo de esta tesis de investigación, con el uso de herramientas de visualización, gestión de la información con programación orientada a objetos, y uso de sensores.



Figura N° 4.154: Visualización-Información-Automatización del modelo BIM en la nube

(Fuente: Elaboración propia)

Todas las automatizaciones mencionadas en esta tesis de investigación, ayudan a completar información clave de manera exacta y clara a través de la gestión visual, para que los ingenieros con uso de su capacidad resolutiva puedan tomar las mejores decisiones de manera colaborativa a través de diferentes alternativas de solución (automatización). Todos estos resultados claves se pueden resumir en un formato A3, presentando diferentes soluciones reales para un proceso constructivo, compartiéndose, comunicándose y visualizándose en una sala de producción instalada en la obra. La visualización e información

de métricas y de diferentes alternativas de solución, en conjunto con la automatización de procesos, en un entorno colaborativo, es la mejor manera de implementar BIM para cualquier proyecto de construcción: Visualización, información, automatización. Véase Figura 4.155.

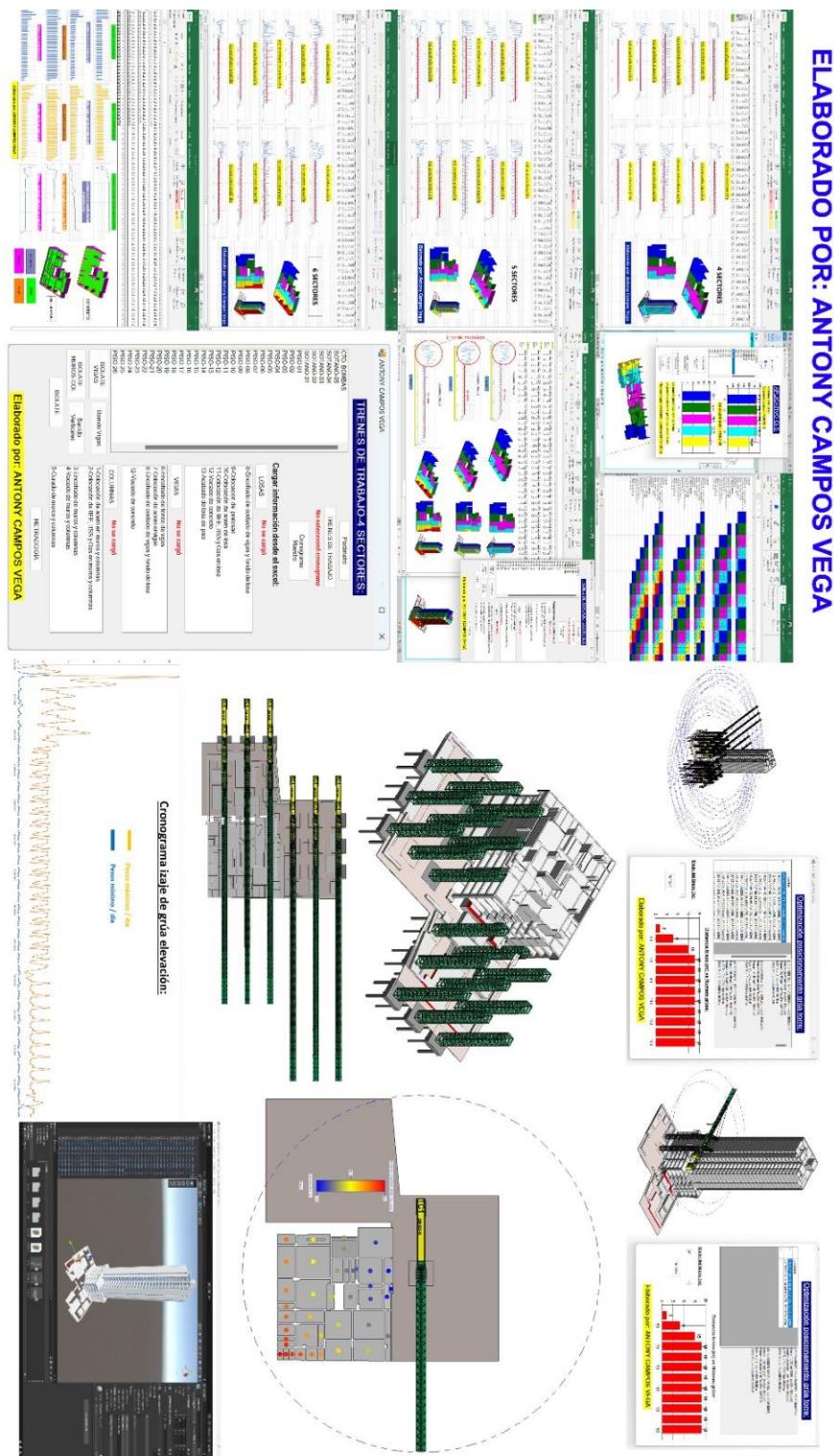


Figura N° 4.155: Formato A3 con diferentes alternativas de solución

(Fuente: Elaboración propia)

## Capítulo V. Análisis y discusiones de resultados

### 5.1 Análisis

Se presentan los resultados obtenidos de las diversas aplicaciones realizadas en esta investigación en términos de tiempo de ejecución. El objetivo principal de este estudio es analizar y comparar la eficiencia temporal de cada aplicación, identificando así cuáles presentan un mejor rendimiento bajo condiciones específicas.

El análisis se centra en el tiempo de ejecución como una métrica clave para evaluar el rendimiento, ya que esta medida es crucial para aplicaciones que requieren procesamiento en tiempo real o que manejan grandes volúmenes de datos, característico de proyectos BIM. Cada aplicación fue sometida a pruebas exhaustivas en un entorno controlado, asegurando que las condiciones de hardware y software fueran consistentes para todas las evaluaciones.

A continuación, se detallan los tiempos de ejecución registrados para cada aplicación, acompañados de una discusión sobre los factores que pueden haber influido en su desempeño. Además, se incluyen gráficos comparativos que facilitan la visualización de los resultados y permiten una interpretación clara y concisa de los datos obtenidos.

Se espera que los resultados aquí presentados proporcionen información valiosa para ingenieros tomadores de decisiones empleando BIM-LEAN, ayudando a seleccionar las aplicaciones más eficientes y a identificar áreas potenciales de mejora.

### 5.1.1 Implementaciones en aspectos estructurales

Nombre del aplicativo	Tiempo medido (segundos)	Tiempo estimado (segundos)	Tiempo del aplicativo (segundos)
Aplicativo ED1: "Interoperabilidad Revit-ETABS"	20 minutos	20 minutos	5 segundos

### 5.1.2 Implementaciones en aspectos constructivos

Nombre del aplicativo	Tiempo medido*	Tiempo estimado*	Tiempo del aplicativo*
Aplicativo CI1: "Modelado automatizado de zapatas"	5 segundos/zapata	4.4 segundos/zapata	0.02 segundos/zapata
Aplicativo CI2: "Modelado automatizado de columnas"	4 segundos/columna	4.8 segundos/columna	0.08 segundos/columna
Aplicativo CI3: "Modelado automatizado de vigas"	4 segundos/viga	4.2 segundos/viga	0.08 segundos/viga
Aplicativo CI4: "Modelado automatizado de losas"	13.16 segundos/losa	8.5 segundos/losa	0.04 segundos/losa
Aplicativo CI5: "Sectorización"	3 horas <> 180 minutos	3 horas <> 180 minutos	20 minutos
Aplicativo CI6: "Automatización encofrado de zapatas"	18 segundos/zapata	15.2 segundos/zapata	0.02 segundos/zapata
Aplicativo CI7: "Automatización encofrado de columnas"	18 segundos/columna	21 segundos/columna	0.02 segundos/columna
Aplicativo CI8: "Automatización encofrado de vigas"	19 segundos/viga	22 segundos/viga	0.04 segundos/viga
Aplicativo CI9: "Automatización encofrado de losas"	12 segundos/losa	8 segundos/losa	0.04 segundos/losa
Aplicativo CI10: "BIM4D proceso constructivo"	-	90 minutos	2 segundos
Aplicación CP1: "Interoperabilidad Revit-Cronograma maestro"	-	3 horas	10 minutos
Aplicativo CE1: "BIM RA-RV"	-	-	20 segundos
Aplicativo CE2: "Optimización del tiempo de desencofrado"	-	7 días	4 días

**\*Tiempo medido:** Es el tiempo necesario para poder modelar un objeto de una familia y tipo determinado de manera manual. No se considera el tiempo para poder crear su familia, su tipo con nombre y medidas respectivas y mucho menos la información “no gráfica” correspondiente.

**\*Tiempo estimado:** Es el tiempo promedio necesario para poder modelar 5 objetos de una familia y tipo determinado de manera manual. No se considera el tiempo para poder crear su familia, su tipo con nombre y medidas respectivas y mucho menos la información “no gráfica” correspondiente.

**\*Tiempo del aplicativo:** Es el tiempo necesario para poder modelar un objeto de una familia y tipo determinado haciendo uso del aplicativo desarrollado. No se considera el tiempo para poder crear su familia, su tipo con nombre y medidas respectivas y mucho menos la información “no gráfica” correspondiente.

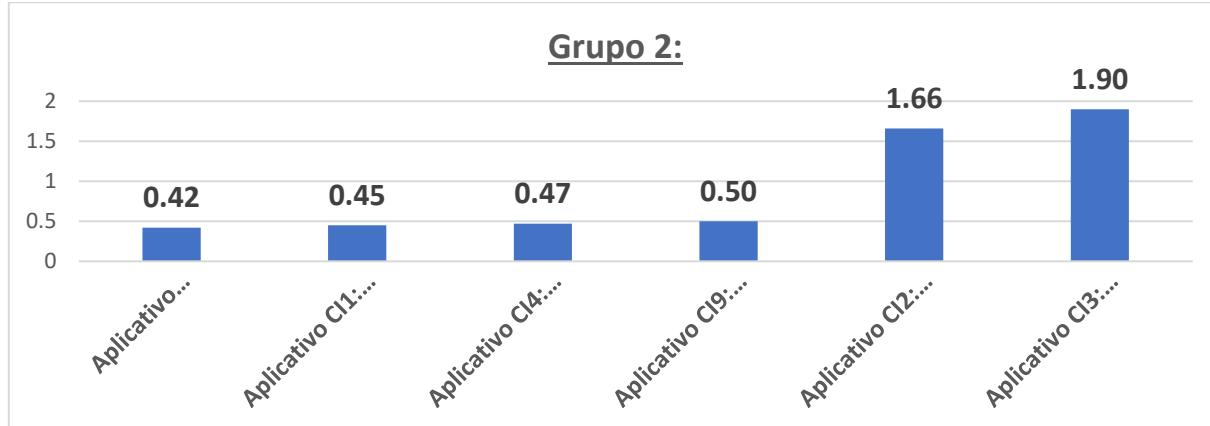
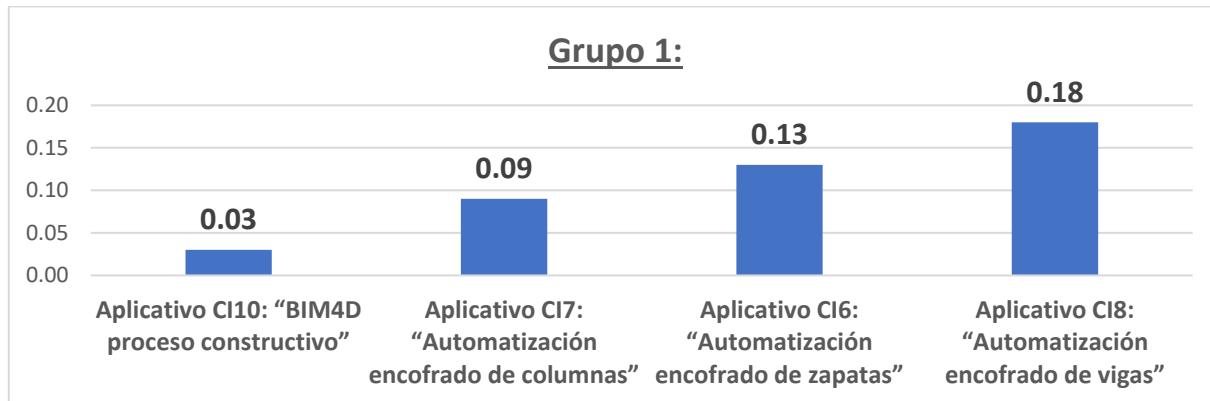
Se considera la siguiente ratio: (tiempo aplicativo/tiempo estimado) %. Los resultados son los siguientes:

Implementación en aspectos estructurales	
Nombre del aplicativo	ratio
Aplicativo ED1: “Interoperabilidad Revit-ETABS”	0.42

Implementación en aspectos constructivos	
Nombre del aplicativo	ratio
Aplicativo CI1: “Modelado automatizado de zapatas”	0.45
Aplicativo CI2: “Modelado automatizado de columnas”	1.66
Aplicativo CI3: “Modelado automatizado de vigas”	1.90
Aplicativo CI4: “Modelado automatizado de losas”	0.47
Aplicativo CI5: “Sectorización”	11.11
Aplicativo CI6: “Automatización encofrado de zapatas”	0.13
Aplicativo CI7: “Automatización encofrado de columnas”	0.09
Aplicativo CI8: “Automatización encofrado de vigas”	0.18
Aplicativo CI9: “Automatización encofrado de losas”	0.5
Aplicativo CI10: “BIM4D proceso constructivo”	0.03
Aplicación CP1: “Interoperabilidad Revit-Cronograma maestro”	5.5

Aplicativo CE2: "Optimización del tiempo de desencofrado"	57.14
---	-------

Nótese que se tienen valores muy pequeños y valores muy grandes, por lo que se decide agruparlos por rangos, con la finalidad de poder visualizarlos de la mejor manera.





## 5.2 Discusiones y resultados

En este estudio comparativo de varias aplicaciones basado en el tiempo de ejecución, se identificaron diferencias significativas que reflejan la eficiencia y el rendimiento de cada una bajo condiciones controladas. A continuación, se destacan los principales hallazgos y conclusiones derivadas de las pruebas realizadas:

### Discusión Aplicativo ED1: "Interoperabilidad Revit-ETABS":

Los resultados obtenidos con respecto al modelado manual han demostrado ser notablemente satisfactorios. Esta observación sugiere que es viable optimizar y mejorar significativamente el flujo de trabajo entre la fase de diseño estructural y la gestión de la información del proyecto utilizando herramientas avanzadas de programación y automatización, reduciendo, no solamente el margen de error humano, sino que también mejora la eficiencia y la coherencia de los datos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Además, la implementación de Building Information Modeling (BIM) combinado con enfoques programáticos permite una sincronización más robusta entre los modelos estructurales y los sistemas de gestión de la construcción. Esta integración facilita la detección temprana de

inconsistencias, la optimización de recursos y la planificación precisa de las actividades de construcción.

Discusión Aplicativo CI1: “Modelado automatizado de zapatas”:

Los resultados obtenidos en el contexto del modelado manual han demostrado ser satisfactorios. Sin embargo, se ha identificado una oportunidad significativa para optimizar este proceso mediante la automatización. Un aspecto crítico a considerar dentro de esta automatización es el desfase de la zapata respecto a su nivel determinado.

En este sentido, la incorporación de este desfase en la codificación del algoritmo puede mejorar considerablemente la precisión del modelo BIM. La propuesta es que el objeto de la clase TextNote más cercano a la zapata a modelar sea utilizado como referencia para establecer el "offset" requerido para la zapata. Este enfoque no solo garantiza la precisión en la ubicación de las zapatas, sino que también permite una mayor coherencia en el modelo automatizado.

Discusión Aplicativo CI2: “Modelado automatizado de columnas”:

Se tiene un buen resultado con respecto al modelado manual. Modela correctamente columnas en forma rectangular y placas en forma de “L”, “T”, “U”. Dicha automatización es de gran ayuda para obtener metrados por sector, por día, por piso de manera más rápida.

Discusión Aplicativo CI3: “Modelado automatizado de vigas”:

Se tiene un buen resultado con respecto al modelado manual. Funciona muy bien para vigas rectangulares. Una limitación de la automatización que no aplica para vigas con sección transversal variable.

Discusión Aplicativo CI4: “Modelado automatizado de losas”:

Se tiene un buen resultado con respecto al modelado manual. Su ratio para esta automatización es uno de los más bajos “0.47” en la sección de modelados automatizados, por lo que es uno de los más efectivos. Esto ocurre debido a que las losas en AutoCAD son modeladas con PolyLines, que son fácilmente reconocidas en la API de Revit obteniéndolas y convirtiéndolas en “CurveLoop” siendo esta un input para el modelado de las losas por código.

Discusión Aplicativo CI5: “Sectorización”:

El tema de la sectorización demora aproximadamente 3 horas de manera manual considerando buscar el equilibrio de volúmenes de trabajo (concreto). Se tiene buen modelado con respecto al procedimiento manual. Esta automatización es muy efectiva ya que permite poder generar procesos constructivos muchos más rápidos con diferentes propuestas de sectores.

Discusión Aplicativo CI6: “Automatización encofrado de zapatas”:

Se tiene un buen resultado con respecto al modelado manual. Esta automatización funciona muy bien sin importar la forma geométrica de la zapata y su desnivel determinado. En la automatización se puede considerar el modelado de sus solados respectivos.

Discusión Aplicativo CI7: “Automatización encofrado de columnas”:

El tiempo de encofrado de verticales puede variar para el caso de columnas rectangulares y para el caso de placas, ya que una placa tiene más caras con respecto a una rectangular. En ambos casos funciona muy bien. Se tiene un buen resultado con respecto al modelado manual.

Discusión Aplicativo CI8: “Automatización encofrado de vigas”:

Se tiene un buen resultado con respecto al modelado manual. Esta automatización corre muy bien tanto para vigas de sección transversal constante como para secciones variables, tanto para vigas horizontales como inclinadas. La automatización permite poder diferenciar los encofrados laterales y encofrados de fondo, ya que estas partidas, en muchos casos, son actividades distintas dentro del tren de trabajo Last Planner System.

Discusión Aplicativo CI9: “Automatización encofrado de losas”:

Se tiene un buen resultado con respecto al modelado manual. En esta aplicación su modelado del encofrado es fácilmente accesible, ya que solo se considera una cara cuyo vector normal es igual a “-1” (encofrado fondo de losa). Se obtiene el encofrado para losas de forma irregular.

Discusión Aplicativo CI10: “BIM4D proceso constructivo”:

El BIM4D proceso constructivo incluye la simulación solo del casco estructural, esto es, zapatas, cimentaciones, columnas, placas, vigas, losas, encofrados y acero. En caso que el modelo BIM en Revit tenga incluido el modelado de otras especialidades, también se puede considerar en la programación. La diferencia de esta automatización se hizo con respecto a Navisworks de manera manual. Se tiene un buen resultado con respecto al proceso manual.

Discusión Aplicación CP1: “Interoperabilidad Revit-Cronograma maestro”:

Para el tema de la interoperabilidad de Revit-Cronograma maestro, se considera que ya se tiene el tren de trabajo en un Excel y el tiempo que demanda es en cambiar y adecuar los takt time a la programación con la cantidad de sectores respectivos. Esta automatización se comparó a introducir de manera manual todas las actividades del tren de trabajo en el modelo BIM Revit de manera manual. Se tiene un buen resultado con respecto al proceso manual.

Discusión Aplicativo CE1: “BIM RA-RV”:

Para este aplicativo no se le comparó con algún procedimiento manual, ya que la realidad virtual es propia y característica de software tecnológico. Se automatizó una plantilla para modelos BIM con el uso del software Revit. También funciona para cualquier modelo con formato “.FBX”, es decir, si de otro software diferente a Revit, el modelo se exporta en dicho formato y en una base de datos o una hoja de Excel se genera la información necesaria para gestionar el proyecto en cualquier fase del mismo (por ejemplo, fase de ejecución) el proceso de realidad virtual-aumentada corre sin ningún problema.

Se considera 20 segundos necesarios para cargar un modelo Revit (peso aproximado 200 MB) con las configuraciones respectivas.

Discusión Aplicativo CE2: “Optimización del tiempo de desencofrado”:

Para el caso del tiempo de desencofrado, normalmente en las obras se desencofra a los 7 días con resultados obtenidos en laboratorio de ensayos de materiales. Haciendo uso de la automatización con el uso de sensores propuestos en esta tesis, se puede llegar a desencofrar a los 4 días con datos de resistencia de concreto en tiempo real.

Para el tema del encofrado, el tiempo de ejecución es mucho más eficaz si se gestiona el modelo Revit cerrado. Esto es posible solamente a través de su API C#, Python. Podría generar un aplicativo de escritorio en la que se hayan cargado las librerías principales de la API de Revit (“RevitAPI.dll”, “RevitAPIUI.dll”) y obtener la información, no solamente de un modelo, sino que se podría obtener la información de varios modelos de especialidades diferentes para gestionar un modelo federado. (Ver anexos 6 y 7).

Se tiene en cuenta que los ratios de rendimiento y eficiencia computacional pueden experimentar mejoras significativas dependiendo de diversas características del ordenador que el ingeniero use. Entre estos factores determinantes, la tarjeta de procesamiento, también conocida como la unidad de procesamiento gráfico (GPU), desempeñando un papel crucial para tareas que requieren altos niveles de procesamiento paralelo, como el renderizado gráfico para BIM 4D y realidad virtual-aumentada. La velocidad del procesador central (CPU) y su capacidad para manejar múltiples hilos de ejecución simultáneamente pueden mejorar los tiempos de cálculo y procesamiento de datos. La cantidad y velocidad de la memoria RAM facilitando el acceso rápido a los datos temporales y mejoran la capacidad de manejar aplicaciones de alto rendimiento.

El tipo de almacenamiento utilizado, ya sea unidades de estado sólido (SSD) o discos duros (HDD), también impacta en los ratios de rendimiento, especialmente en tareas de entrada y salida de datos. Los SSD, al ofrecer velocidades de lectura y escritura significativamente más rápidas que los HDD, reducen los tiempos de carga y mejoran la eficiencia general del sistema.

Asimismo, la arquitectura del sistema, incluyendo el bus de datos y la eficiencia del sistema operativo para gestionar recursos, juega un papel fundamental. Las configuraciones avanzadas, como el uso de matrices de discos RAID y tecnologías de virtualización, pueden optimizar aún más el rendimiento dependiendo de las necesidades específicas de las aplicaciones.

En resumen, la mejora en los ratios de rendimiento de un ordenador es el resultado de la sinergia entre diversos componentes de hardware y su capacidad para trabajar de manera óptima en conjunto. La elección y configuración adecuada de estos elementos, en función de las necesidades específicas del usuario, son cruciales para alcanzar niveles superiores de eficiencia y productividad computacional para proyectos BIM-IoT-Realidad virtual.

En conclusión, las investigaciones actuales en el campo de la ingeniería civil y la gestión de la construcción sugieren que el uso de técnicas de programación, como la automatización con APIs específicas de software de diseño estructural, puede revolucionar el flujo de trabajo tradicional. Estos métodos avanzados permiten la creación de procesos más ágiles y adaptativos, capaces de responder rápidamente a cambios en los requisitos del proyecto y a desafíos imprevistos.

Los resultados positivos obtenidos del modelado manual refuerzan la idea de que la integración de herramientas programáticas puede conducir a un flujo de trabajo más eficiente y preciso. La continua evolución de estas tecnologías promete transformaciones significativas en la manera en que se gestionan y ejecutan los proyectos de construcción, logrando niveles superiores de exactitud y eficiencia.

## Capítulo VI. Validación de las aplicaciones desarrolladas

Para validar las aplicaciones desarrolladas en el marco de esta tesis, se diseñó una encuesta dirigida a cinco expertos en el área de metodologías BIM, automatización de procesos y tecnologías aplicadas a la construcción. El objetivo principal fue evaluar la eficacia, utilidad y relevancia de las soluciones propuestas en relación con los procesos actuales y los desafíos asociados a la gestión de información y automatización en entornos BIM.

Para el diseño de la encuesta se consideraron ocho preguntas orientadas a cubrir diferentes aspectos clave de la validación, tales como:

1. La eficiencia y eficacia de las automatizaciones frente a métodos manuales o herramientas de programación visual (Dynamo).
2. La capacidad de las automatizaciones para mejorar la gestión de información en proyectos BIM.
3. El potencial de las aplicaciones como herramienta para la toma de decisiones y su alineación con enfoques avanzados como Lean Construction y Digital Twins.
4. Los conocimientos técnicos necesarios para su implementación.

Las preguntas se estructuraron de forma que los expertos pudieran proporcionar respuestas basadas en su experiencia y conocimiento técnico, evaluando tanto los beneficios como las áreas de oportunidad.

Para la selección de los expertos fueron seleccionados mediante un muestreo intencional, garantizando que cumplieran con los siguientes criterios:

- 1) Amplia experiencia en el uso de software BIM, específicamente Autodesk Revit.

- 2) Conocimiento sobre automatización de procesos y herramientas metodologías de Lean Construction.
- 3) Participación activa en proyectos de diseño, construcción o investigación relacionados con la digitalización de procesos constructivos.

Para el proceso de evaluación, a cada experto se le proporcionó una copia de las aplicaciones desarrolladas, junto con un manual de usuario que explicaba su funcionalidad y contexto de uso. Posteriormente, se les solicitó completar la encuesta de forma independiente, asegurando que sus respuestas reflejaran una valoración objetiva y detallada de las herramientas.

La validación de las aplicaciones desarrolladas tiene como objetivo garantizar que estas cumplan con los requisitos funcionales y de usabilidad establecidos durante el desarrollo de esta tesis. En este caso, las aplicaciones desarrolladas en entornos BIM y de realidad virtual fueron evaluadas mediante pruebas prácticas que incluyeron simulaciones, análisis comparativos y la retroalimentación de expertos en el campo de la construcción y tecnología.

Para las aplicaciones BIM, se validó la precisión en la integración de datos, la representación de los modelos y la interoperabilidad con otros sistemas. En el caso de las aplicaciones de realidad virtual, se analizaron la experiencia del usuario, la inmersión en entornos simulados y la capacidad para facilitar la toma de decisiones en contextos constructivos.

Los resultados de la validación confirmaron la eficacia de las herramientas desarrolladas, destacando su potencial para optimizar procesos constructivos, mejorar la comunicación entre los interesados y reducir errores durante la ejecución de proyectos.

## 6.1 Validación profesional # 1



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Civil

### PROYECTO DE TESIS:

#### “GESTIÓN VISUAL PARA INGENIEROS TOMADORES DE DECISIONES EMPLEANDO BIM-LEAN”

Especialista:	Paolo Ivan Bustos Vidal
Cargo:	Coordinador BIM
Correo:	<a href="mailto:Pbustos@besco.com.pe">Pbustos@besco.com.pe</a>
Fecha:	23/04/2024
Hora:	03:05pm

El motivo de la siguiente encuesta es conocer la opinión sobre expertos para la elaboración de dicha tesis. La información se utilizará para fines meramente académicos.

**Instrucciones:** Marque con una “X” la respuesta de su preferencia.

La valoración de cada opción es la siguiente:

- 1: Muy desacuerdo.
- 2: En acuerdo.
- 3: Indiferente.
- 4: De acuerdo.
- 5: Muy acuerdo.

ITEM	PREGUNTA	1	2	3	4	5
1	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas obtienen resultados más eficientes y eficaces que de manera manual?				X	
2	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas permiten mejorar la gestión de la información dentro del software BIM de Autodesk Revit?					X
3	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas mejorarían la gestión de información dentro del flujo de procesos en un proyecto BIM?					X
4	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas son una buena herramienta para la toma de decisiones por parte del equipo BIM?					X
5	¿Usaría las automatizaciones desarrolladas para gestionar la información en sus proyectos BIM?					X
6	¿Considera que se debe de tener conocimientos básicos del uso del software BIM de Autodesk Revit para la ejecución de dichas automatizaciones?					X
7	¿Considera que la automatización de sectorización desarrollada permite mejorar el flujo de trabajo entre la metodología BIM y la herramienta metodológica de la filosofía Lean Construction?					X
8	Teniendo en cuenta que el concepto de BIM sigue en evolución. ¿Considera que el desarrollo del prototipo y programación del sensor de temperatura, ayuda a complementar sinérgicamente BIM con el enfoque de Digital Twins?					X

## 6.2 Validación profesional # 2



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Civil

### PROYECTO DE TESIS:

#### “GESTIÓN VISUAL PARA INGENIEROS TOMADORES DE DECISIONES EMPLEANDO BIM-LEAN”

<b>Especialista:</b>	VANESSA ESTEFANIA INCISO MAYORÍA
<b>Cargo:</b>	Coordinadora VDC BIM
<b>Correo:</b>	totalvinciso@gmail.com
<b>Fecha:</b>	29/04/2024
<b>Hora:</b>	10:00 pm

El motivo de la siguiente encuesta es conocer la opinión sobre expertos para la elaboración de dicha tesis. La información se utilizará para fines meramente académicos.

**Instrucciones:** Marque con una “X” la respuesta de su preferencia.

La valoración de cada opción es la siguiente:

- 1: Muy desacuerdo.
- 2: En acuerdo.
- 3: Indiferente.
- 4: De acuerdo.
- 5: Muy acuerdo.

ITEM	PREGUNTA	1	2	3	4	5
1	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas obtienen resultados más eficientes y eficaces que de manera manual?				X	
2	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas permiten mejorar la gestión de la información dentro del software BIM de Autodesk Revit?				X	
3	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas mejorarían la gestión de información dentro del flujo de procesos en un proyecto BIM?				X	
4	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas son una buena herramienta para la toma de decisiones por parte del equipo BIM?				X	
	¿Usaría las automatizaciones desarrolladas para gestionar la información en sus proyectos BIM?				X	
5	¿Considera que se debe de tener conocimientos básicos del uso del software BIM de Autodesk Revit para la ejecución de dichas automatizaciones?				X	
6	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas son muchos más eficientes y eficaces con respecto a la programación visual Dynamo?				X	
7	¿Considera que la automatización de sectorización desarrollada permite mejorar el flujo de trabajo entre la metodología BIM y la herramienta metodológica de la filosofía Lean Construction?				X	
8	Teniendo en cuenta que el concepto de BIM sigue en evolución. ¿Considera que el desarrollo del prototipo y programación del sensor de temperatura, ayuda a complementar sinergicamente BIM con el enfoque de Digital Twins?				X	

### 6.3 Validación profesional # 3



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Civil

### PROYECTO DE TESIS:

#### “GESTIÓN VISUAL PARA INGENIEROS TOMADORES DE DECISIONES EMPLEANDO BIM-LEAN”

<b>Especialista:</b>	José Luis Alomía Oviedo
<b>Cargo:</b>	Jefe BIM VDC
<b>Correo:</b>	<a href="mailto:jalomia@besco.com.pe">jalomia@besco.com.pe</a>
<b>Fecha:</b>	26/04/2024
<b>Hora:</b>	17:30pm

El motivo de la siguiente encuesta es conocer la opinión sobre expertos para la elaboración de dicha tesis. La información se utilizará para fines meramente académicos.

**Instrucciones:** Marque con una “X” la respuesta de su preferencia.

La valoración de cada opción es la siguiente:

- 1: Muy desacuerdo.
- 2: En acuerdo.
- 3: Indiferente.
- 4: De acuerdo.
- 5: Muy acuerdo.

ITEM	PREGUNTA	1	2	3	4	5
1	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas obtienen resultados más eficientes y eficaces que de manera manual?					X
2	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas permiten mejorar la gestión de la información dentro del software BIM de Autodesk Revit?					X
3	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas mejorarían la gestión de información dentro del flujo de procesos en un proyecto BIM?					X
4	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas son una buena herramienta para la toma de decisiones por parte del equipo BIM?					X
	¿Usaría las automatizaciones desarrolladas para gestionar la información en sus proyectos BIM?					X
5	¿Considera que se debe de tener conocimientos básicos del uso del software BIM de Autodesk Revit para la ejecución de dichas automatizaciones?					X
6	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas son muchos más eficientes y eficaces con respecto a la programación visual Dynamo?					X
7	¿Considera que la automatización de sectorización desarrollada permite mejorar el flujo de trabajo entre la metodología BIM y la herramienta metodológica de la filosofía Lean Construction?					X
8	Teniendo en cuenta que el concepto de BIM sigue en evolución. ¿Considera que el desarrollo del prototipo y programación del sensor de temperatura, ayuda a complementar sinergicamente BIM con el enfoque de Digital Twins?					X

## 6.4 Validación profesional # 4



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Civil

PROYECTO DE TESIS:

## “GESTIÓN VISUAL PARA INGENIEROS TOMADORES DE DECISIONES EMPLEANDO BIM-LEAN”

Especialista:	Jonatan Ruiz Gutierrez
Cargo:	Modelador BIM
Correo:	<a href="mailto:paulrg@live.com">paulrg@live.com</a>
Fecha:	30.04.05
Hora:	09:40 am

El motivo de la siguiente encuesta es conocer la opinión sobre expertos para la elaboración de dicha tesis. La información se utilizará para fines meramente académicos.

**Instrucciones:** Marque con una “X” la respuesta de su preferencia.

La valoración de cada opción es la siguiente:

- 1: Muy desacuerdo.
- 2: En acuerdo.
- 3: Indiferente.
- 4: De acuerdo.
- 5: Muy acuerdo.

ITEM	PREGUNTA	1	2	3	4	5
1	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas obtienen resultados más eficientes y eficaces que de manera manual?					X
2	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas permiten mejorar la gestión de la información dentro del software BIM de Autodesk Revit?					X
3	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas mejorarían la gestión de información dentro del flujo de procesos en un proyecto BIM?					X
4	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas son una buena herramienta para la toma de decisiones por parte del equipo BIM?				X	
5	¿Usaría las automatizaciones desarrolladas para gestionar la información en sus proyectos BIM?				X	
6	¿Considera que se debe de tener conocimientos básicos del uso del software BIM de Autodesk Revit para la ejecución de dichas automatizaciones?					X
7	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas son muchos más eficientes y eficaces con respecto a la programación visual Dynamo?				X	
8	Teniendo en cuenta que el concepto de BIM sigue en evolución. ¿Considera que el desarrollo del prototipo y programación del sensor de temperatura, ayuda a complementar sinéricamente BIM con el enfoque de Digital Twins?				X	

## 6.5 Validación profesional # 5



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Civil

### PROYECTO DE TESIS:

#### “GESTIÓN VISUAL PARA INGENIEROS TOMADORES DE DECISIONES EMPLEANDO BIM-LEAN”

Especialista:	Luis Daniel Berrocal Zegarra
Cargo:	Gerente de obra
Correo:	<a href="mailto:danielbz@besco.com.pe">danielbz@besco.com.pe</a>
Fecha:	15/05/2024
Hora:	10:38 am

El motivo de la siguiente encuesta es conocer la opinión sobre expertos para la elaboración de dicha tesis. La información se utilizará para fines meramente académicos.

**Instrucciones:** Marque con una “X” la respuesta de su preferencia.

La valoración de cada opción es la siguiente:

- 1: Muy desacuerdo.
- 2: En acuerdo.
- 3: Indiferente.
- 4: De acuerdo.
- 5: Muy acuerdo.

ITEM	PREGUNTA	1	2	3	4	5
1	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas obtienen resultados más eficientes y eficaces que de manera manual?					X
2	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas permiten mejorar la gestión de la información dentro del software BIM de Autodesk Revit?					X
3	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas mejorarían la gestión de información dentro del flujo de procesos en un proyecto BIM?					X
4	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas son una buena herramienta para la toma de decisiones por parte del equipo BIM?				X	
	¿Usaría las automatizaciones desarrolladas para gestionar la información en sus proyectos BIM?				X	
5	¿Considera que se debe de tener conocimientos básicos del uso del software BIM de Autodesk Revit para la ejecución de dichas automatizaciones?				X	
6	¿Considera que las automatizaciones desarrolladas son muchos más eficientes y eficaces con respecto a la programación visual Dynamo?				X	
7	¿Considera que la automatización de sectorización desarrollada permite mejorar el flujo de trabajo entre la metodología BIM y la herramienta metodológica de la filosofía Lean Construction?				X	
8	Teniendo en cuenta que el concepto de BIM sigue en evolución. ¿Considera que el desarrollo del prototipo y programación del sensor de temperatura, ayuda a complementar sinergicamente BIM con el enfoque de Digital Twins?				X	

Validaciones sobre las automatizaciones:

Paolo Ivan Bustos Vidal:

Las automatizaciones son muy útiles para la industria de la construcción, permite tomar decisiones con información confiable de manera rápida optimizando el flujo de trabajo. Las optimizaciones son mucho más útiles en etapas tempranas y emplearlas en la planificación del proyecto garantiza minimizar los cambios en campo. Para que la industria de la construcción mejore se debe invertir en tecnología para mejorar la confiabilidad en la toma de decisiones. Las automatizaciones desarrolladas por Antony Campos Vega para su tema de investigación serán de gran apoyo para los procesos BIM.

Vanessa Estefanía Inciso Mayoría:

La automatización al emplear sensores de temperatura y tener una alerta inmediata de cada cambio o como lo vamos programando agiliza no tan solo el proceso de control del concreto también hace que sea más amigable la plataforma donde se puede visualizar cada cambio. Es muy interesante la automatización desarrollada por Antony Campos Vega.

José Luis Alomía Oviedo:

He visto los desarrollos de automatización de Antony Campos Vega y en especial el prototipo del sensor de temperatura y su conexión sinérgica con la metodología BIM dando aporte e inicio al desarrollo de gemelos digitales en la construcción.

Jonatan Ruiz Gutierrez:

Las automatizaciones desarrolladas por Antony Campos Vega ayudan y favorecen la gestión de información para los modelos BIM. La visualización de la información recopilada por sensores a través de dashboard permite la mejor toma de decisiones.

Luis Daniel Berrocal Zegarra:

Estoy de acuerdo con las automatizaciones que viene desarrollando Antony Campos Vega para el sector de la construcción bajo la metodología BIM y trabajarla sinérgicamente con el concepto de Digital Twins.

## Conclusiones

En conjunto, el cumplimiento de los objetivos y la validación de las hipótesis refuerzan la relevancia de la programación orientada a objetos como herramienta para potenciar la toma de decisiones en proyectos de edificación, tanto en el ámbito estructural como en el constructivo. Estos resultados destacan el impacto positivo de integrar tecnología avanzada y principios Lean en la industria de la construcción.

A nivel de objetivos se lograron desarrollar aplicaciones en el programa Revit de Autodesk utilizando el lenguaje de programación C# para implementar herramientas de gestión visual de post-proceso del programa ETABS en el diseño estructural. Estas herramientas facilitaron la integración y optimización de datos estructurales, demostrando su utilidad en la mejora del flujo de trabajo entre ambas plataformas. También se desarrollaron aplicaciones en Revit utilizando C# para automatizar procesos BIM-LEAN relacionados con la construcción de edificaciones. Estas aplicaciones permitieron una mejor gestión visual y una mayor eficiencia en las tareas asociadas a los modelos BIM, alineándose con los principios de Lean Construction en el que hace referencia al ahorro de recursos.

A nivel de hipótesis, los resultados obtenidos confirman que la gestión visual implementada mediante programación orientada a objetos con C# permite a los ingenieros tomar decisiones de manera efectiva en aspectos estructurales de proyectos de edificaciones. Esto se evidenció a través de la mejora en la detección de inconsistencias y la validación de criterios de diseño. De manera similar, se demostró que la gestión visual implementada permite una toma de decisiones más efectiva en aspectos constructivos. Las aplicaciones desarrolladas optimizaron procesos críticos de coordinación, supervisión y control durante las etapas constructivas, reduciendo tiempos y costos operativos.

- 1) La programación orientada a objetos “POO” es una herramienta que permite poder programar alcances específicos para proyectos o información que se crea relevante por parte de los interesados del proyecto.
- 2) Las herramientas de POO ayudan de alguna u otra manera a no depender de aplicativos estándares del mercado que muchas veces no se ajustan a proyectos particulares y/o son limitados a proyectos específicos.
- 3) La realidad mixta: virtual - aumentada es una herramienta de gran ayudar para los últimos planificadores, ya que les permite tener un alcance mucho más claro desde su celular y/o óculus, sin dejar pasar detalles específicos para lo que se va a construir.
- 4) Si se llegase a estandarizar la nomenclatura en la forma en cómo se nombra los layers del CAD, el modelado manual será reemplazado por el modelado automatizado, permitiendo tener un mejor control de calidad al modelo BIM.
- 5) La automatización con herramientas de programación C# permite tener LOD más detallados tanto en información gráfica como no gráfica.
- 6) Haber realizado una buena gestión de interesados (identificación de interesados para entender sus necesidades, expectativas para luego planificar a los interesados) para luego realizar una gestión del alcance (recopilación de requisitos, definición del alcance) permite definir los entregables de aplicativos a desarrollar que define el alcance del proyecto tesis a realizar.
- 7) El desarrollo de los aplicativos ha demostrado ser altamente efectivo en etapas de diseño, ejecución y control en la parte del casco estructural.
- 8) Los proyectos de gran complejidad y envergadura son más susceptibles en tener cambios de costos, cronogramas y alcance, por lo que las herramientas tecnológicas, como la programación, permitirá tener resultados óptimos lo más pronto posible.

## Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente para cada aplicativo realizado en esta tesis:

Nombres de los aplicativos	CÓDIGO	Recomendación
-Interoperabilidad Revit-ETABS	ED-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Se recomienda usar una versión de ETABS con licencia original, ya que en esta forma no se tendrán errores al momento de realizar programaciones.</li> <li>2) Se recomienda usar una versión de ETABS mayor a 2020, ya que los aplicativos se han hecho en base a las API's de esas versiones.</li> </ol>
- Modelado automatizado de zapatas	CI-1	
- Modelado automatizado de columnas	CI-2	
- Modelado automatizado de vigas	CI-3	
- Modelado automatizado de losas	CI-4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Se recomienda tener bien asignado en el CAD el nombre de los layers correspondiente a cada elemento estructural, esto con la finalidad de que la programación logre una correcta identificación.</li> <li>2) Para el caso del modelado de losas, se recomienda identificar y separar las losas inclinadas.</li> <li>3) Para el caso del modelado de columnas, se recomienda identificar y separar las columnas inclinadas.</li> <li>4) Para el caso del modelado de vigas, se recomienda identificar y separar las vigas inclinadas.</li> <li>5) Para el caso de las columnas, se recomienda primero modelar y/o instanciar los niveles del CAD en Revit para indicar el inicio y fin de cada columna. El proceso del instanciado de cada nivel se puede automatizar.</li> </ol>
-Sectorización.	CI-5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) La sectorización debe de ser resultado de un trabajo colaborativo, por lo tanto, se recomienda hacer sesiones ICE para ver aspectos de constructabilidad.</li> <li>2) Se recomienda que dentro de las sesiones ICE participe un experto estructural, para que indique en qué zonas se deberían considerar cortes longitudinales tanto de vigas como de losas a L/3 y/o 2L/3 de sus respectivas longitudes. Este input sería importante para poder ingresarlo en la automatización.</li> </ol>
- Automatización encofrados zapatas	CI-6	
- Automatización encofrados columnas	CI-7	
- Automatización encofrados vigas	CI-8	
- Automatización encofrados losas	CI-9	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Antes de automatizar encofrados, se debe de tener en cuenta el grado de industrialización que tendrá el proyecto. Ya que una viga prearmada tendrá menos m<sup>2</sup> de encofrado que una viga que se vacía por completo en obra. Esta</li> </ol>

		<p>aclaración permite automatizar el modelado más o menos de lo debido en nuestro modelo en Revit.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2) Se recomienda evitar modelar cimentaciones, cimientos corridos, zapatas como modelos genéricos, ya que perderían las características estructurales que por defecto considera Revit dentro de su programación para la asignación de las características de sus tipos.</li> <li>3) Se recomienda validar la automatización de encofrados con el proveedor para ver si en la automatización se desea incorporar alguna información adicional que permita optimizar la gestión de los encofrados.</li> <li>4) Antes de automatizar el modelado de encofrados, saber el grado de industrialización que tendrá el proyecto, no es lo mismo encostrar una viga-losa prearmada que una viga-losa vaciada insitu.</li> </ol>
-BIM4D proceso constructivo.	CI-10	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Se recomienda ejecutar el aplicativo en el Revit Estructuras, es decir, en el modelo solo para la parte del casco estructural (zapatas, vigas, columnas, placas, losas, escaleras), esto con la finalidad de no sobrecargar la gestión de datos.</li> </ol>
-Interoperabilidad Revit-cronograma maestro.	CP-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Se recomienda realizar sesiones ICE para analizar la constructibilidad del proyecto y se proponga los mejores procesos de secuenciamiento de ejecución para los trenes de trabajo. El aplicativo tiene la bondad de poder proponer varias sectorizaciones de manera automatizada.</li> </ol>
-BIM RA-RV	CE-1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Se recomienda hacer pequeñas sesiones explicativas para el uso del aplicativo a los last planner.</li> <li>2) Se recomendaría tener celulares exclusivamente para obra con el aplicativo instalado. Esto debido a que se evita tener la situación que el propio celular de los trabajadores tenga la batería agotada por su uso personal o poca memoria de almacenamiento para aplicaciones exteriores.</li> <li>3) Se recomienda tener un modelado a nivel estructura-acero bien modelado con la información necesaria a usar en obra, ya que este con sus detalles respectivos será input para el aplicativo de realidad aumentada.</li> <li>4) Se recomienda ejecutar el aplicativo en el Revit Estructuras, es decir, en el modelo solo para la parte del casco</li> </ol>

		<p>estructural (zapatas, vigas, columnas, placas, losas, escaleras), esto con la finalidad de no sobrecargar la gestión de datos en celulares con poca capacidad de procesamiento.</p> <p>5) Se recomienda revisar correctamente los planos de detalles del acero y ser validados por los expertos a través de sesiones ICE con los proveedores de acero, estructurales, capataces.</p> <p>6) En caso el proyecto en Revit sea complejo en términos del acero, se recomienda modelarlo por sector/piso o en todo caso modelarlo en el software Tekla, tratando de buscar una interoperabilidad con Revit para el gestionamiento de su información.</p>
-Optimización del tiempo de desencofrado.	CE-2	<p>1) Se recomienda usar “jumpers” (cables) de buena calidad, que con el tiempo, calor y humedad permitan obtener un funcionamiento constante.</p> <p>2) Debido al bajo costo del sensor, se podría instalar más de uno por sector/nivel.</p> <p>3) Se recomienda usar baterías de reconocida marca, para garantizar su funcionamiento continuo.</p> <p>4) Se recomienda usar un sensor Bluetooth de buena marca para garantizar la conectividad sin ningún problema.</p> <p>5) Se recomienda realizar una impresión 3D que ayude al ensamblado del sensor para facilitar su instalación de la mejor manera, un ensamblado personalizado.</p> <p>6) Se está haciendo uso del Arduino “UNO”. Se recomienda usar un sensor más personalizado, por ejemplo, Arduino NANO, ya que así se evita tener pines “vacíos” que no se están usando.</p> <p>7) Se recomienda hacer uso de estos sensores para concretos masivos, ya que en estos vaciados se generan grandes procesos exotérmicos.</p> <p>8) Se recomienda hacer uso del sensor “DS18B20” para sumergirlo dentro del concreto.</p> <p>9) Se recomienda no dejar instalado el aplicativo en el Arduino sin que esté sin uso alguno, ya que su memoria, al parecer, se resetea automáticamente al ver que no está realizando trabajo.</p>

## Referencias bibliográficas

- Aish, R. (2022). *The synergy of non-manifold topology and reinforcement learning for fire egress*. (Ed 1, vol 4). Editorial: <https://orca.cardiff.ac.uk>
- Plan BIM Chile (2019). *Building Information Modelling: BIM estándar para proyectos públicos*.
- Boseley, S. (2018). *La aplicación de la Realidad Aumentada (AR) en la industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción*. (Ed 1, vol 5). Editorial: <https://aec.technology>
- Condori, J. y Rojas, V. (2022). *Informe sobre la Seguridad Estructural del Mercado Central de Bambamarca y Mercado temporal Las Papas. Escuela Central de Posgrado de la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú*. (Ed 1, vol 4). <https://centralUNI.com>
- Kurzweil R. (2005). *The singularity is near*. (Ed 1, vol1). Editorial: <https://www.singularity.com>.
- Kloppenborg, T. (2018). *Contemporany Project Management*. (Ed 1, vol2). Editorial: <https://www.pmi.org.com>
- Monjas, D. (2018). *Uso de Dynamo para Revit en la mejora de la gestión de la información y modelado de un hotel*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.] Repositorio de tesis UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/17852>
- Project Management Institute (2017). *A guide to the project body of knowledge (PMBOK guide)* (6<sup>th</sup> ed.) Project Management Body of Knowledge (2018).
- Quispe, L. (2021). *Aplicación de herramientas BIM en el diseño paramétrico y generativo para la concepción de estructuras complejas*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.] Repositorio de tesis UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22360>

Tezel, A., Koskela, L. y Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in production management: a literature synthesis. *Project Management Construction*. 4, 1-45. <https://eprints.hud.ac.uk>

Zarzo, J. (2019). *Implementación de un sistema de seguimiento y control usando BIM en las obras civiles de un proyecto petroquímico*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú] Repositorio de tesis UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/18999>

## Anexos

<b>Anexo 01:</b>	Duplicidad mediante el uso de “Level-Location” para la categoría “Structural Columns .....	239
<b>Anexo 02:</b>	LocationPoint”, puntos proyectados en el plano Z=0.....	240
<b>Anexo 03:</b>	Duplicidad mediante el uso de “Solid Class”.....	241
<b>Anexo 04:</b>	Uso de “vectores”.....	242
<b>Anexo 05:</b>	ElementType sin usar.....	243
<b>Anexo 06:</b>	DLL usados.....	244
<b>Anexo 07:</b>	Mejora tiempos de ejecución.....	244

---

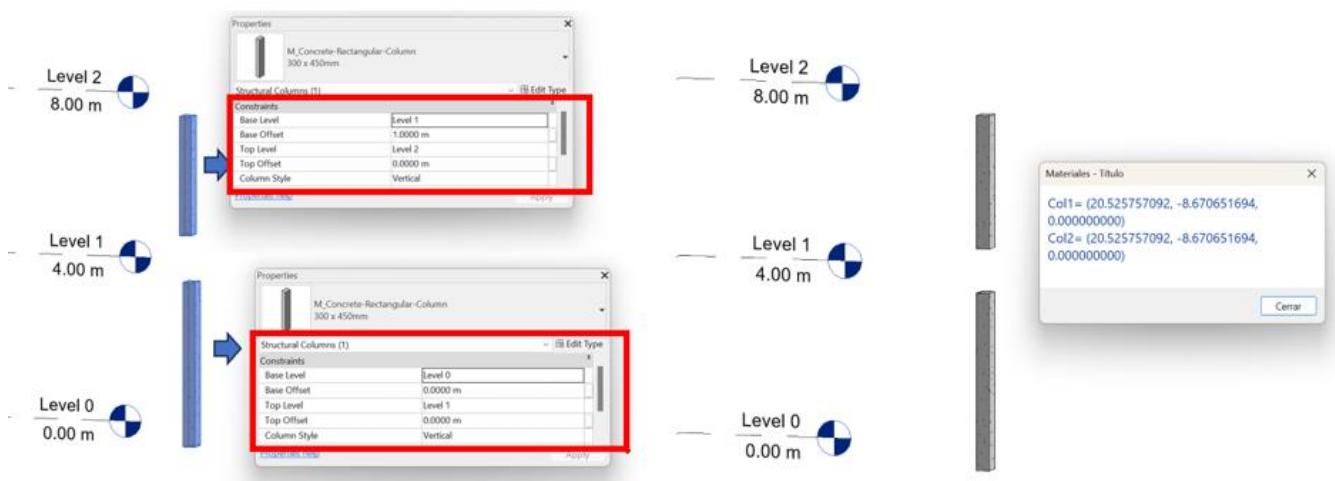
**Anexo 01:** Duplicidad mediante el uso de “Level-Location” para “Structural Columns”.

Dos cuerpos no pueden ocupar el mismo espacio, por lo tanto, si un elemento de una categoría “X” y otro elemento de la misma categoría “X” tienen el mismo Level-Location, entonces se estaría hablando de una duplicidad y se debe de borrar una de las dos. Esto traducido al lenguaje de Revit API con C# se muestra como sigue:

```
public void duplicidadLevelLocation(Document doc){  
  
    List<Element> columnas= new FilteredElementCollector(doc)  
        .OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralColumns)  
        .WhereElementIsNotElementType().ToList();  
  
    List<ElementId> ids= new List<ElementId>();  
  
    for(int i=0;i<columnas.Count-1;i++){  
        XYZ p1= (columnas[i].Location as LocationPoint).Point;  
        string l1= columnas[i].LookupParameter("Base Level").AsValueString();  
        for(int j=i+1;j<columnas.Count;j++){  
            XYZ p2= (columnas[j].Location as LocationPoint).Point;  
            string l2= columnas[j].LookupParameter("Base Level").AsValueString();  
  
            if( p1==p2){if( l1==l2){ids.Add(columnas[j].Id);}}  
        }  
    }  
  
    using (Transaction tran= new Transaction(doc,"ANTONY CAMPOS VEGA-FIC UNI")) {  
        tran.Start();  
        doc.Delete(ids);  
        tran.Commit();  
    }  
  
    //ELABORADO POR: ANTONY JUAN CAMPOS VEGA-FIC UNI.  
}
```

**Anexo 02:** LocationPoint", puntos proyectados en el plano Z=0.

En la codificación tanto en C# (como se muestra en la figura anterior), es necesaria tanto la condición ( $p1==p2?$ ) como la condición ( $l1==l2?$ ), ya que, varias columnas pueden estar encima de otra columna en la misma línea de acción, y aun así, sus "LocationPoint" siguen siendo las mismas, dado que, para el caso de los "Structural Columns", los "LocationPoint" son puntos proyectados en un plano Z=0. En la siguiente figura se ve una col1 (Base Level= Level 0, Top Level= Level 1) y una col2 (Base Level= Level 1, Top Level= Level 2), en donde no existe "duplicidad", dado que no están al mismo nivel, pero sus "LocationPoint" sí son los mismos, es por eso que la condición ( $l1==l2?$ ) es necesaria.



Observaciones:

- 1) En el caso de "Structural Foundations" bastaría solo la condición ( $p1==p2?$ ) ya que una zapata no puede estar encima de la otra.
- 2) En el caso de objetos BIM con categoría "Structural Framing" y/o "Walls" cámbiense (`objeto.Location as LocationPoint`) por (`objeto.Location as LocationCurve`).Curve y

obténgase los “.GetEndPoint(0)” y “.GetEndPoint(1)” que significan los puntos inicial y finales de la viga respectivamente.

**Anexo 03:** Duplicidad mediante el uso de “Solid Class”.

Otra forma de identificar duplicidad es mediante el uso de la clase “Solid” que pertenece al namespace “Autodesk.Revit.DB” del Assembly “RevitAPI.dll”. Si existe intersección del sólido de un elemento de la categoría “X” con el sólido de otro elemento de la misma categoría “X”, entonces existe duplicidad. Esta forma no requiere comparar “Level-Location” como en el procedimiento anterior, ya que la sola intersección de volúmenes da el indicativo de duplicidad y/o interferencias.

```
public void duplicidadSolidos(Document doc){

    List<Element> columnas= new FilteredElementCollector(doc)
        .OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralColumns)
        .WhereElementIsNotElementType().ToList();

    List<ElementId> ids= new List<ElementId>();

    for(int i=0;i<columnas.Count-1;i++){
        Solid sólido1= null;
        foreach (GeometryObject objeto1 in columnas[i].get_Geometry(new Options())) {
            foreach (GeometryObject pol1 in (objeto1 as GeometryInstance).GetInstanceGeometry() ) {
                if ( (pol1 as Solid).Volume!=0 ){sólido1= pol1 as Solid;}
            }
        }

        for(int j=i+1;j<columnas.Count;j++){
            Solid sólido2= null;
            foreach (GeometryObject objeto2 in columnas[j].get_Geometry(new Options())) {
                foreach (GeometryObject pol2 in (objeto2 as GeometryInstance).GetInstanceGeometry() ) {
                    if ( (pol2 as Solid).Volume!=0 ){sólido2= pol2 as Solid;}
                }
            }
            //Intersección de sólidos:
            Solid sólido= BooleanOperationsUtils.ExecuteBooleanOperation( sólido1, sólido2, BooleanOperationsType.Intersect);
            if( sólido.Volume!=0){ids.Add( columnas[j].Id);}

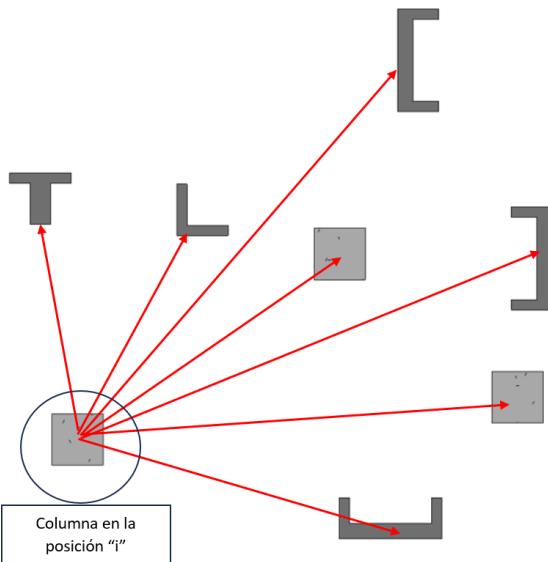
        }
    }

    using (Transaction tran= new Transaction(doc,"ANTONY CAMPOS VEGA-FIC UNI")) {
        tran.Start(); doc.Delete(ids); tran.Commit();
    }

    //ELABORADO POR: ANTONY JUAN CAMPOS VEGA-FIC UNI.
}
```

**Anexo 04: Uso de “vectores”.**

Si a un mismo “nivel”, la magnitud del vector posición de cualquier columna con respecto a una columna que se toma como base es igual a “cero”, entonces existe duplicidad de columnas.



Posicionamiento de todas las columnas respecto a una columna selecciona al azar, todas a un mismo nivel

```
public void duplicidadColumnas(Document doc, string nivel){

    List<Element> columnas= new FilteredElementCollector(doc)
        .OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralColumns)
        .WhereElementIsNotElementType()
        .Where(x=>x.LookupParameter("PISO").AsValueString()==nivel)
        .ToList();

    using (Transaction tran= new Transaction(doc, "ANTONY CAMPOS VEGA")) {
        tran.Start();
        for (int i = 0; i < columnas.Count; i++) {
            for (int j = i+1; j < columnas.Count; j++) {
                XYZ puntoBase= (columnas[i].Location as LocationPoint).Point;
                XYZ punto= (columnas[j].Location as LocationPoint).Point;
                double magnitud= Line.CreateBound(puntoBase, punto).Length;
                if( magnitud==0){
                    //Columna duplicada en dicho punto. Eliminarla
                    doc.Delete(columnas[i].Id);
                }
            }
        }
        tran.Commit();
    }
    //ANTONY CAMPOS VEGA
}
```

Automatización para la eliminación de columnas duplicadas a un mismo nivel

## Anexo 05: ElementType sin usar.

Otra forma de mejorar la calidad del modelo BIM es mediante la identificación de los tipos de elementos que están cargados en el proyecto pero que no se estén usando. Estos tipos que no se están usando o que no han sido usados para instanciar elementos, están haciendo más pesado el proyecto BIM, por lo que se recomienda, eliminarlos. Esta automatización podría permitir establecer una métrica en el proyecto sobre los tipos que inicialmente se crearon en el proyecto respecto a los tipos que se están usando en el proyecto, esto permitirá tener un ratio de lo que se propuso en un inicio usar y lo que realmente se está usando.

```
public void pesoArchivo(Document doc, BuiltInCategory bt){

    //Seleccionando todos los tipos en el proyecto:
    List<ElementId> tiposTotales= new FilteredElementCollector(doc)
        .OfCategory(bt).WhereElementIsElementType()
        .Select(x=>x.Id).ToList();

    //Obteniendo los tipos de los objetos instanciados:
    List<ElementId> tiposInstanciado= new FilteredElementCollector(doc)
        .OfCategory(bt).WhereElementIsNotElementType()
        .Select(x=> doc.GetElement(x.GetTypeId()) as ElementType)
        .Select(x=>x.Id).Distinct().ToList();

    using (Transaction tran= new Transaction(doc, "ANTONY CAMPOS VEGA")) {
        tran.Start();
        foreach (ElementId id in tiposTotales.Except(tiposInstanciado)) {
            doc.Delete(id);
        }
        tran.Commit();
    }
    //FIN MÉTODO ANTONY CAMPOS VEGA FIC-UNI
}
```

Automatización para el eliminado de tipos que no se están usando

**Anexo 06:** DLL usados.

DLL	Namespace	Clase	Propiedad-Método
RevitAPI	Autodesk.Revit.UI	UIApplication	Application
RevitAPIUI	Autodesk.Revit.ApplicationServices	Application	OpenDocumentFile()

**Anexo 07:** Mejora en tiempos de ejecución.

El objetivo de este estudio es mejorar la eficiencia en los tiempos de ejecución al automatizar el modelado de encofrados mediante el uso de la Revit API con el lenguaje C#. Se propone utilizar específicamente objetos de la clase RevitLinkInstance para facilitar esta automatización.

El encofrado es una parte crítica en la fase de construcción que tradicionalmente requiere un considerable esfuerzo manual para su diseño y colocación en modelos de Revit. La automatización de este proceso no solo busca reducir el tiempo invertido en tareas repetitivas, sino también mejorar la precisión y la coherencia en el diseño estructural.

La elección de utilizar RevitLinkInstance se justifica por su capacidad para gestionar vínculos de modelos de Revit externos, permitiendo acceder y manipular elementos de estos modelos dentro del entorno de trabajo principal. Esto facilita la integración de datos y la sincronización de cambios entre modelos, optimizando así la colaboración y el flujo de trabajo multidisciplinario en proyectos de construcción complejos.

Palabra claves:

- 1) ISaveSharedCoordinatesCallback
- 2) RevitLinkInstance
- 3) RevitLinkType
- 4) Unload()

5) Reload()

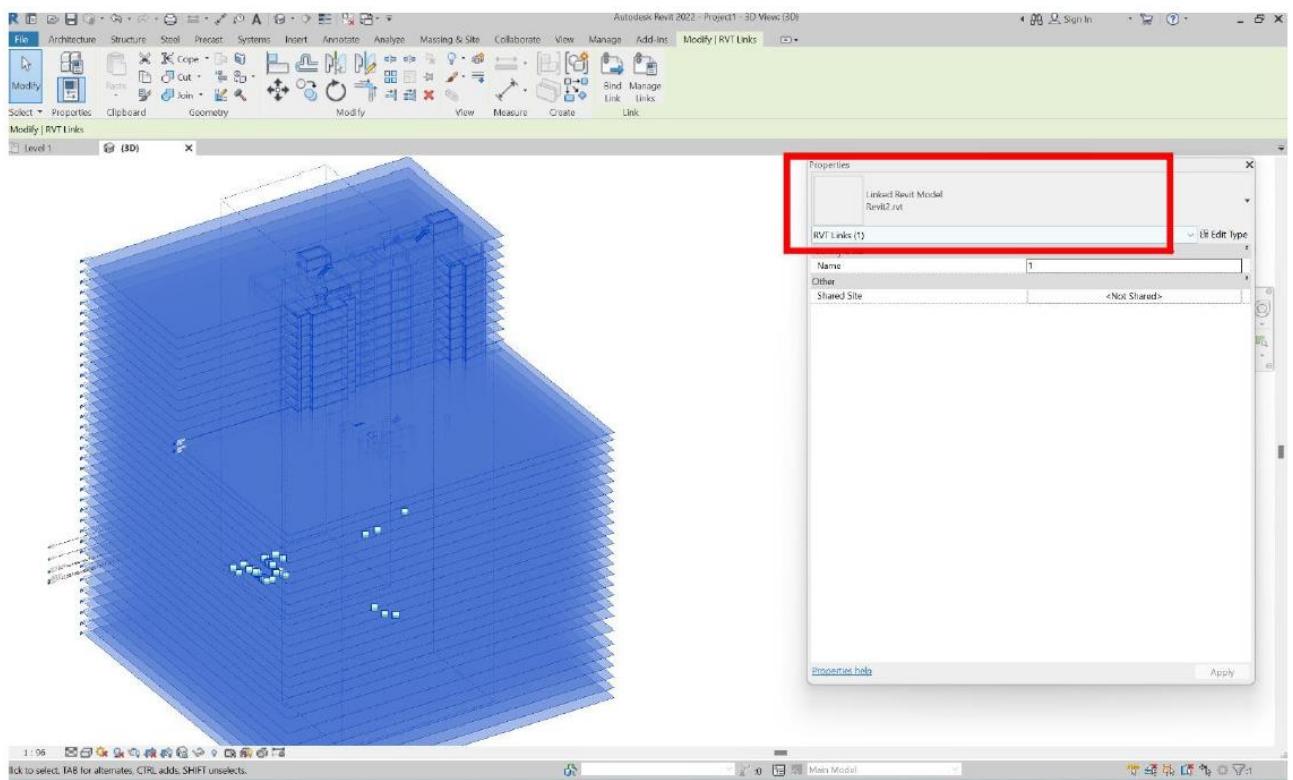
6) Application-->OpenDocumentFile(pathName del archivo RevitLink)

DLL usados:

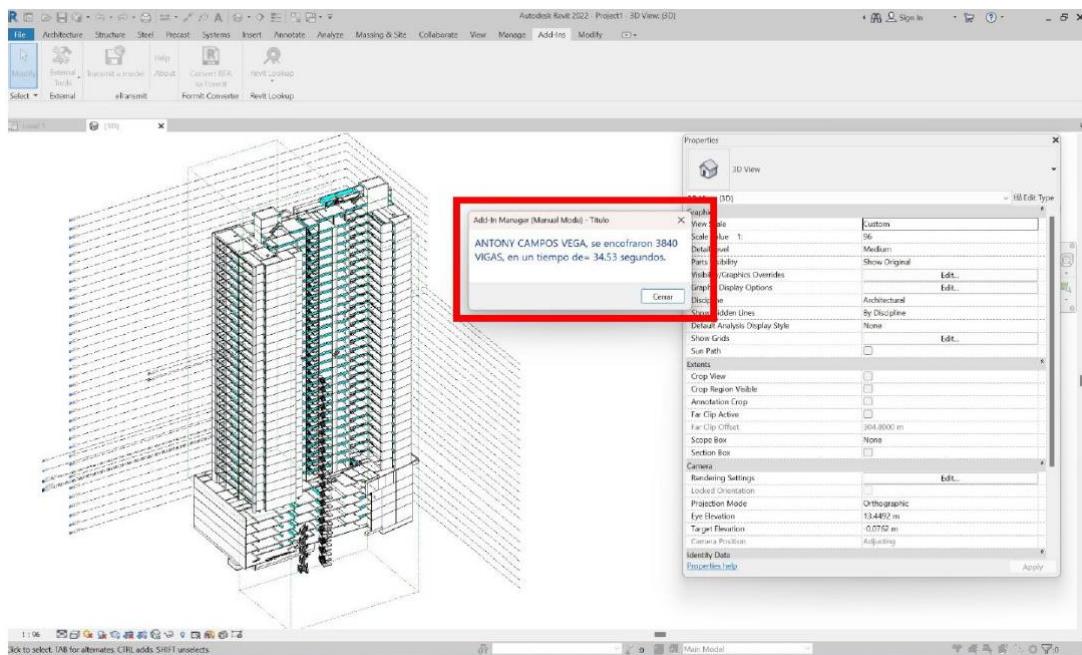
1) RevitAPI.dll

2) RevitAPIUI.dll

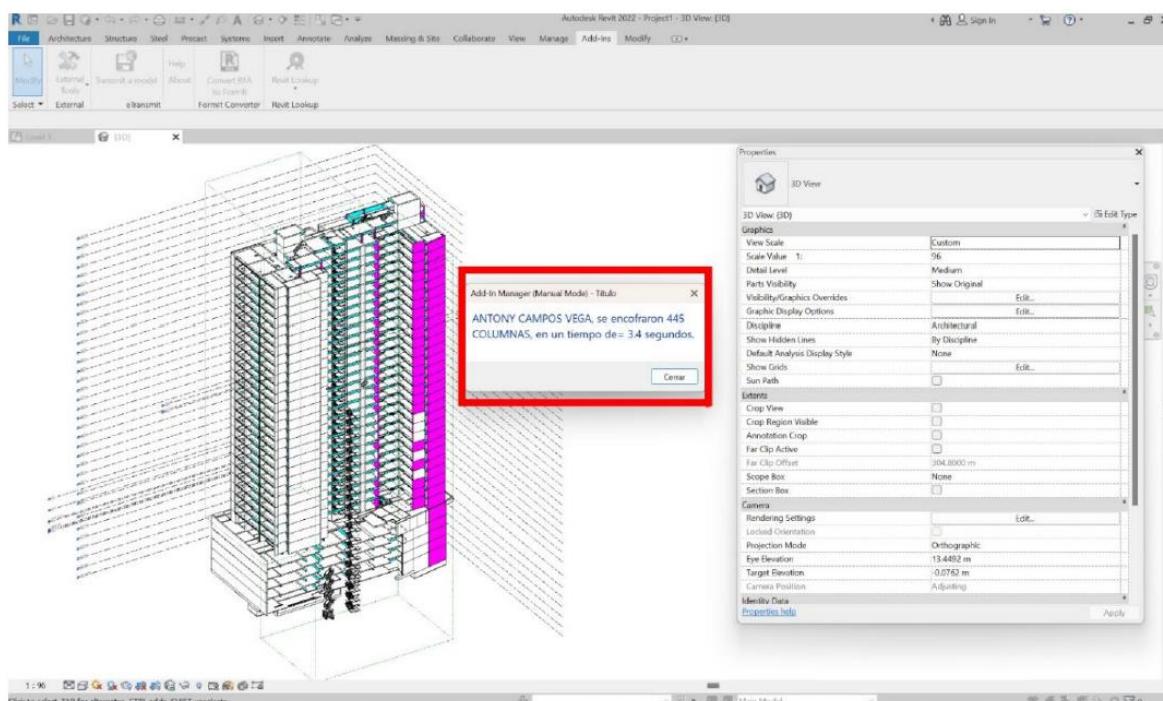
En la siguiente figura se muestra el objeto seleccionado de la clase “RevitLinkInstance”.



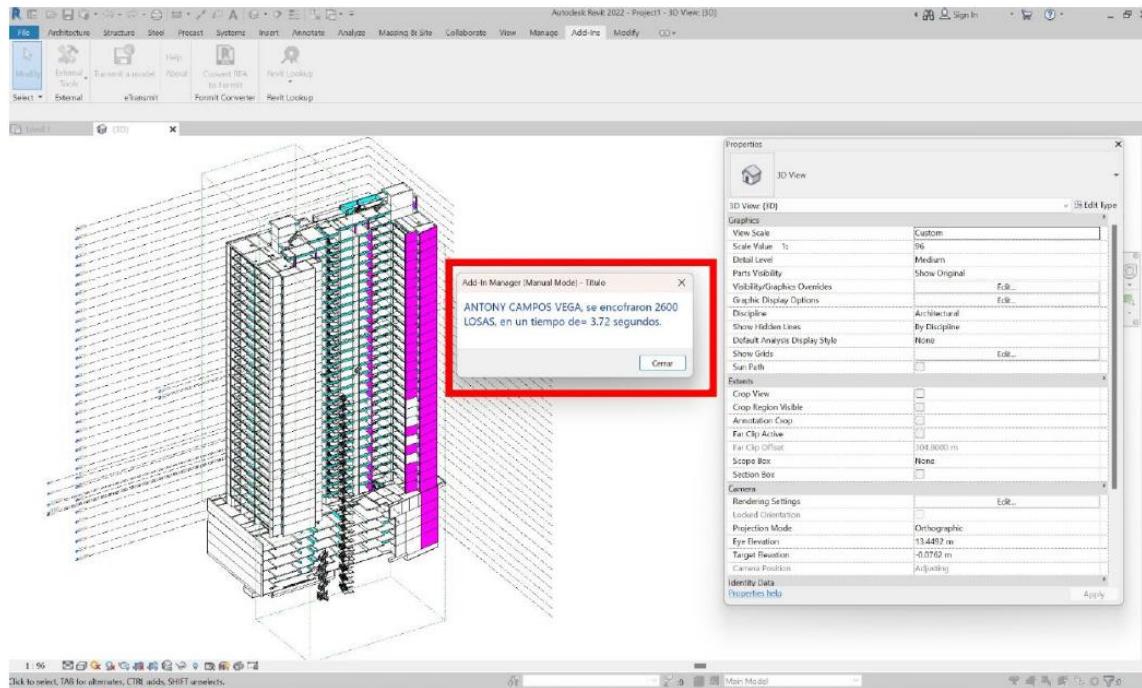
En la siguiente figura se muestra el tiempo de ejecución para el modelado de encofrado automático de las vigas.



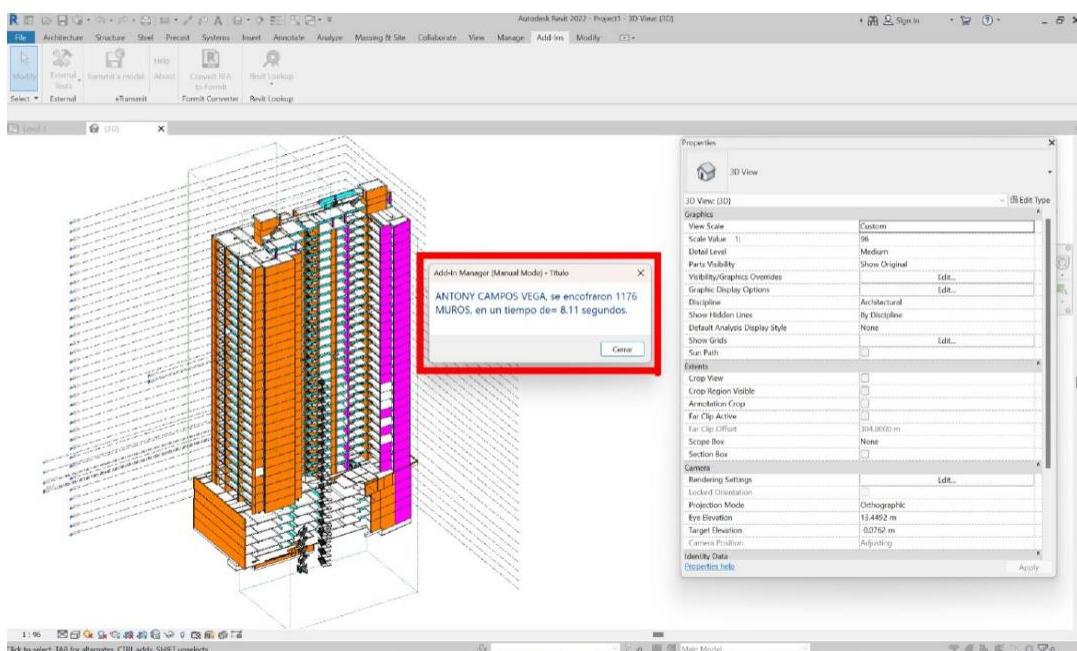
En la siguiente figura se muestra el tiempo de ejecución para el modelado de encofrado automático de las columnas.



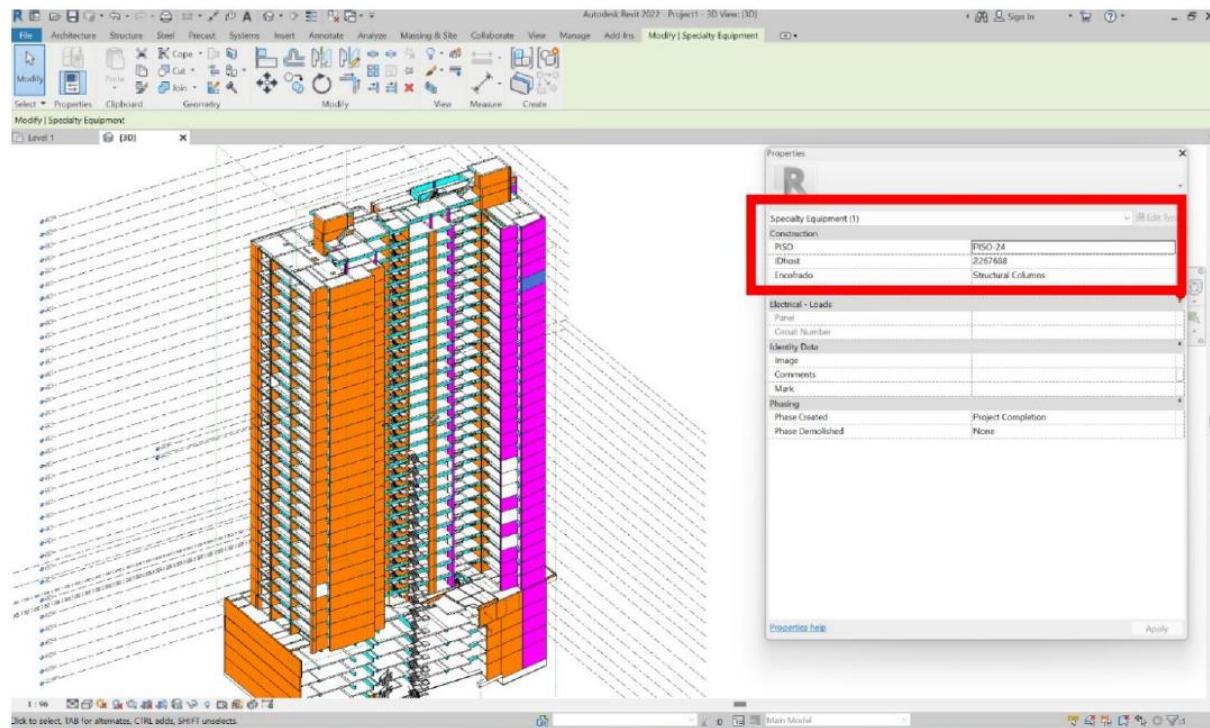
En la siguiente figura se muestra el tiempo de ejecución para el modelado de encofrado automático de las losas.



En la siguiente figura se muestra el tiempo de ejecución para el modelado de encofrado automático de los muros.



Se muestra que dicha automatización logra gestionar completamente la información referida al host de cada encofrado.



Se muestran las siguientes métricas:



Se procedió a realizar el análisis con el uso de un sensor de pantalla táctil. Los resultados indican, que la transferencia de información de manera inalámbrica es muy buena con una diferencia muy pequeña con respecto a la interfaz de Revit. Es decir, la automatización realizada en esta investigación, da pie a poder hacer uso de Revit de manera inalámbrica, mediante el uso de sensores, dando inicio a que se pueda usar softwares BIM sin la interacción directa hombre-computadora.

Se procedió a realizar un análisis utilizando un sensor de pantalla táctil para evaluar la viabilidad de la transferencia de información de manera inalámbrica en el contexto de la interfaz de Revit. Los resultados obtenidos indican una notable eficacia en la automatización, con una mínima diferencia respecto a la interacción convencional con Revit.

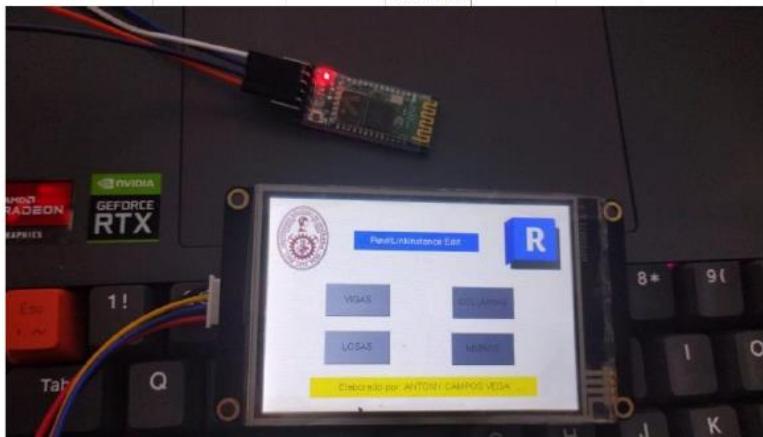
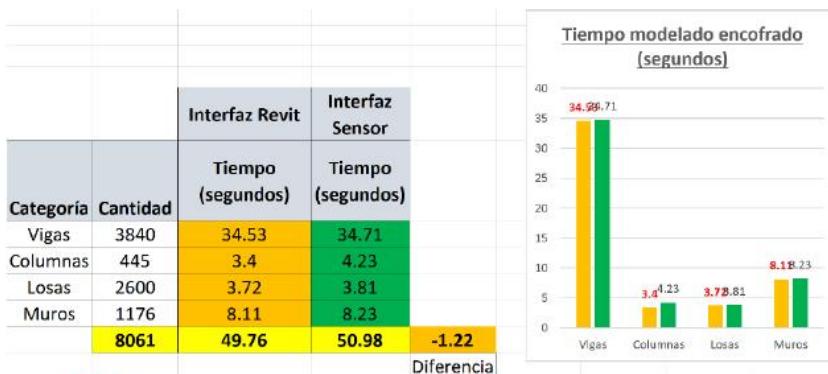
Se sugiere que la implementación de “sensores BIM” permitirá mejorar el potencial en el uso de Revit de forma inalámbrica, allanando el camino para la utilización de software BIM sin la necesidad de interacción directa hombre-computadora. Este avance representa un paso significativo hacia la optimización de los procesos de diseño y gestión de información en entornos de construcción y arquitectura.

La metodología empleada incluyó la medición de la precisión y velocidad de la transferencia de datos mediante el sensor de pantalla táctil de manera inalámbrica, comparando los resultados con las interacciones estándar de usuario en Revit. Este enfoque no solo validó la efectividad del sistema propuesto, sino que también identificó áreas potenciales para mejoras y refinamientos técnicos.

La contribución principal de este estudio radica en su capacidad para abrir nuevas posibilidades en la integración de tecnologías inalámbricas en el ámbito de la construcción digital y la gestión de proyectos basados en BIM. La investigación proporciona una base sólida

para futuras exploraciones y desarrollos en la automatización de herramientas BIM, promoviendo una mayor eficiencia y precisión en la industria de la construcción.

En conclusión, los resultados positivos obtenidos respaldan la viabilidad y eficacia de la automatización mediante sensores para la operación inalámbrica de Revit y otros softwares BIM, anticipando avances significativos en la innovación tecnológica aplicada al diseño arquitectónico y la ingeniería civil.



Véase el video demostrativo en el siguiente link:

<https://acortar.link/1hEJGO>