



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**AUTOMATIZACIÓN DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN PARA
METRADOS A PARTIR DE MODELOS VIRTUALES DEL
COMPONENTE ESTRUCTURAL EN LA ETAPA DE
ELABORACIÓN DE UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN Y UN
PROYECTO DE OBRA VIAL**

TESIS

PRESENTADA POR:

WILLIAM DENIZ VARGAS VARGAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

*A Mariano y Sabina, mis padres,
a quienes les debo lo que soy hoy.*

William Deniz Vargas



AGRADECIMIENTOS

A mi querida Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, especialmente a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que contribuyeron en cada etapa de nuestra formación profesional.

A mi familia, por el apoyo brindado durante el desarrollo de la presente investigación y a lo largo de toda nuestra formación universitaria.

A los señores miembros del jurado evaluador, cuyos argumentos, críticas y profesionalismo fueron aporte en esta tarea; por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos que ayudan a formar personas e investigadores.

A la familia “UTA Group E.I.R.L.” por confiar, apoyar y difundir la presente investigación; a “Comercial Manthita E.I.R.L.” que apostó incondicionalmente para el desarrollo de la presente tesis.

Gracias, de manera general, a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo y colaboración desinteresada.

William Deniz Vargas



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción..... 15

1.2. Justificación del Proyecto..... 16

1.3. Objetivos de la Investigación..... 17

1.3.1. Objetivo general..... 17

1.3.2. Objetivo específico..... 17

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación..... 18

2.2. Bases teóricas..... 20

2.2.1. BIM (Building Information Modelling)..... 20

2.2.2. Gestión de información..... 21

2.2.2.1. Información..... 21

2.2.2.2. Plan de ejecución BIM..... 22

2.2.2.3. Niveles de desarrollo de elementos BIM (LOD)..... 22

2.2.2.4. Plataforma BIM..... 25

2.2.3. Automatización BIM..... 27

2.2.3.1. Interoperabilidad..... 27



2.2.3.2. API. Entorno de desarrollo.	29
2.2.4. Metrado.....	31

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología de la investigación.	34
3.1.1. Tipo de investigación.	34
3.1.2. Nivel de investigación.	34
3.1.3. Diseño de investigación.....	34
3.1.4. Población y muestra.	35
3.1.5. Instrumentos.	36
3.1.6. Primer caso de estudio.....	36
3.1.7. Primer caso de estudio.....	36

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del primer caso de estudio	122
4.2. Resultado del segundo caso de estudio	132
V. CONCLUSIONES.....	145
VI. RECOMENDACIONES	147
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148
ANEXOS.....	151

TEMA: Automatización de la gestión de información

ÁREA : Gestión de la construcción

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de información y simulación digital

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 13 DE JULIO DE 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Illustration of spatial federation strategy by discipline in a building Project ISO 19650-1 (2018).....	21
Figura 2:	Implementación de External Application en C#.....	29
Figura 3:	Programación macro de Revit	30
Figura 4:	Programación en Visual Studio	31
Figura 5:	Proceso de solución de problemas de software BIM y viabilidad de desarrollo de las API	33
Figura 6:	Plan de ejecución BIM (PEB)	35
Figura 7:	Configuración de modelado de muros estructurales.....	39
Figura 8:	Modelado de muros estructurales	39
Figura 9:	Organización de parámetros, estructuras de contención	40
Figura 10:	Esquema de modelado de objetos BIM de estructuras de contención.....	42
Figura 11:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias solado	43
Figura 12:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias zapata.....	44
Figura 13:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, pantalla	44
Figura 14:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, contrafuerte .	45
Figura 15:	Nivel de desarrollo del proyecto.....	46
Figura 16:	Progresiva de muros estructurales	47
Figura 17:	Nivel de referencia de muros estructurales.....	47
Figura 18:	Configuración metrado tradicional de área de encofrado.....	54
Figura 19:	Configuración metrado tradicional de volumen de concreto.....	56
Figura 20:	Viabilidad de desarrollo de la API	57
Figura 21:	Entorno de desarrollo de API	58
Figura 22:	Entorno de desarrollo de la aplicación externa "métrica" en Visual Studio	59
Figura 23:	Resumen de desarrollo de APP métrica	59
Figura 24:	Desarrollo de implementación de interfaz para métrica	60
Figura 25:	Desarrollo de programación orientada a objetos para métrica	61
Figura 26:	Implementación de formulario "Windows Form"	62
Figura 27:	Manifiesto de lectura de código.....	63
Figura 28:	Guía de ejecución del aplicativo: métrica.....	64
Figura 29:	Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM.....	65



Figura 30:	Vista 3D de modelado de acero estructural	68
Figura 31:	Configuración de modelado del proyecto.....	71
Figura 32:	Organización de parámetros del proyecto	72
Figura 33:	Esquema de modelado de objetos BIM de estructuras de contención.....	77
Figura 34:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, solado	78
Figura 35:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, viga de cimentación.....	79
Figura 36:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, cimiento corrido.....	80
Figura 37:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, sobrecimiento	81
Figura 38:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, sobrecimiento reforzado.....	82
Figura 39:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, Zapata	83
Figura 40:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, columna	84
Figura 41:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, placa	85
Figura 42:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, muro de contención.....	86
Figura 43:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, viga.....	87
Figura 44:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, losa aligerada	88
Figura 45:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, losa maciza ..	89
Figura 46:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, rampa.....	90
Figura 47:	Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, escalera.....	91
Figura 48:	Nivel de desarrollo del proyecto.....	92
Figura 49:	Niveles de referencia de estructuras	93
Figura 50:	Configuración metrado tradicional de área de encofrado.....	107
Figura 51:	Configuración metrado tradicional de volumen de concreto.....	109
Figura 52:	Viabilidad de desarrollo de la API	111
Figura 53:	Entorno de desarrollo de API	112
Figura 54:	Entorno de desarrollo de la aplicación externa métrica en Visual Studio	112
Figura 55:	Resumen de desarrollo de APP métrica	113
Figura 56:	Desarrollo de implementación de interfaz para métrica.....	114
Figura 57:	Desarrollo de programación orientada a objetos para métrica	115



Figura 58:	Implementación de formulario "Windows Form"	116
Figura 59:	Manifiesto de lectura de código.....	117
Figura 60:	Guía de ejecución del aplicativo: métrica.....	118
Figura 61:	Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM.....	119
Figura 62:	Modelado paramétrico de estructuras de contención	123
Figura 63:	Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM.....	128
Figura 64:	Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM.....	129
Figura 65:	Modelado paramétrico del componente estructural de la edificación	133
Figura 66:	Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM.....	140



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Herramientas de la familia BIM	28
Tabla 2:	Formatos de intercambio de información	28
Tabla 3:	Hitos del plan de ejecución BIM (proyecto vial, estructuras contención) ...	37
Tabla 4:	Estructura de carpetas del proyecto	38
Tabla 5:	Parámetros compartidos del proyecto, estructuras de contención	40
Tabla 6:	Parámetros del proyecto.....	41
Tabla 7:	Nivel de detalle gráfico de zapata, estructuras de contención	49
Tabla 8:	Nivel de detalle gráfico de contrafuerte, estructuras de contención.	50
Tabla 9:	Nivel de detalle gráfico para pantalla, estructuras de contención.....	51
Tabla 10:	Nivel de detalle gráfico de acero estructural, estructuras de contención.....	53
Tabla 11:	Gestión de Información de estructuras de contención	55
Tabla 12:	Tabla de planificación de encofrado de pantalla, estructuras de contención	55
Tabla 13:	Tabla planificación, concreto en pantalla, estructuras de contención.....	56
Tabla 14:	Cuantificación de materiales de APP métrica.....	63
Tabla 15:	Esquema de montaje de vistas y planos	67
Tabla 16:	Hitos del plan de ejecución BIM	69
Tabla 17:	Estructura de carpetas del proyecto	70
Tabla 18:	Parámetros compartidos, elemento	72
Tabla 19:	Parámetros compartidos, nivel elemento	73
Tabla 20:	Parámetros del proyecto.....	74
Tabla 21:	Nivel de gestión de información de elementos de modelado, fase 1	75
Tabla 22:	Nivel de gestión de información de elementos de modelado, fase 2	76
Tabla 23:	Nivel de detalle gráfico, solado	94
Tabla 24:	Nivel de detalle gráfico, viga de cimentación.....	95



Tabla 25: Nivel de detalle gráfico, zapata.....	96
Tabla 26: Nivel de detalle gráfico, cimiento corrido	97
Tabla 27: Nivel de detalle gráfico, sobrecimiento	98
Tabla 28: Nivel de detalle gráfico, sobrecimiento reforzado	99
Tabla 29: Nivel de detalle gráfico, columna	101
Tabla 30: Nivel de detalle gráfico, placa	102
Tabla 31: Nivel de detalle gráfico, viga	104
Tabla 32: Nivel de detalle gráfico, losa aligerada.....	105
Tabla 33: Nivel de detalle gráfico, losa maciza	106
Tabla 34: Tabla de planificación de encofrado para sobrecimiento.....	108
Tabla 35: Tabla planificación de volumen de concreto en sobrecimiento.....	110
Tabla 36: Cuantificación de materiales de APP métrica.....	117
Tabla 37: Esquema de montaje de vistas y planos.....	121
Tabla 38: Resumen de plan de ejecución BIM del proyecto	122
Tabla 39: Cuantificación con tablas de planificación, concreto en solado	124
Tabla 40: Cuantificación con tablas de planificación, concreto en zapata	124
Tabla 41: Cuantificación con tablas de planificación, concreto en pantalla	125
Tabla 42: Cuantificación con tablas de planificación, acero estructural.....	125
Tabla 43: Ventajas y desventajas de las tablas de planificación	126
Tabla 44: Ventajas y desventajas de la automatización	127
Tabla 45: Cuantificación de volumen de concreto con la automatización.....	130
Tabla 46: Cuantificación de área de encofrado con la automatización.....	130
Tabla 47: Cuantificación de acero estructural con la automatización.....	131
Tabla 48: Resumen de plan de ejecución BIM del proyecto	132
Tabla 49: Ventajas y desventajas de tablas de planificación	134



Tabla 50: Cuantificación con tablas de planificación, concreto en zapata	135
Tabla 51: Cuantificación con tablas de planificación, viga de cimentación	135
Tabla 52: Cuantificación con tablas de planificación, concreto en columnas-mezanine	136
Tabla 53: Cuantificación con tablas de planificación, concreto en vigas-mezanine..	137
Tabla 54: Cuantificación con tablas de planificación, concreto en losa aligerada- mezanine	138
Tabla 55: Ventajas y desventajas de la Automatización	139
Tabla 56: Resultado de la automatización de metrado de concreto de losa aligerada en mezanine	141
Tabla 57: Resultado de la automatización de metrado de concreto de viga de cimentación	141
Tabla 58: Resultado de la automatización de metrado de concreto de columna en mezanine	142
Tabla 59: Ventajas y desventajas de la Automatización y tablas de planificación (Autodesk Revit)	144



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- **ISO:** *The International Organization for Standardization* (Organización internacional para la estandarización).
- **BIM:** *Building Information Modeling* (Modelado de información de la construcción).
- **LOD:** *Level of Development* (Nivel de desarrollo de elementos BIM).
- **DVC:** *Virtual Design Construction* (Construcción de diseño virtual).
- **API:** *Application Programming Interface* (Interfaz de programación de aplicaciones).
- **BBDD:** Base de datos



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el área de gestión de la construcción de tecnologías de información y simulación digital y, consistió en viabilizar el desarrollo de un aplicativo denominado métrica que está basado en una plataforma existente de código abierto (*Revit API*) es funcional para modelos virtuales en la obtención de cuantificación de materiales (volumen de concreto y área de encofrado) dentro de la metodología BIM. La investigación fue de tipo aplicada a tecnologías de información en la etapa de elaboración de un proyecto vial (estructuras de contención) y de edificación (componente estructural), por sus características es de nivel descriptivo y de diseño no experimental. Para ello, se desarrolló un plan de ejecución BIM (PEB), modelado de estructuras, gestión de información, vistas y planos y cierre del proyecto. Al desarrollar el aplicativo, denominado métrica para cuantificación de materiales a partir de modelado 3D en *Autodesk Revit*, se puede evidenciar la eficiencia de la extracción de información en tiempo real, las tablas de planificación ya se configuran y personalizan de acuerdo al tipo de proyecto; la facilidad de uso de interfaz de usuario es intuitiva; la portabilidad del aplicativo no tiene límite de instalaciones a otros dispositivos y, la interoperabilidad no se puede vincular directamente, pero si se puede exportar a archivo editable.

Palabras clave: Automatización, gestión de la información, modelado virtual



ABSTRACT

The present research work was developed in the area of management of the construction of information technologies and digital simulation and, consisted of making feasible the development of an application called metric that is based on an existing open source platform (Revit API) is functional for virtual models in obtaining quantification of materials (concrete volume and formwork area) within the BIM methodology. The research was applied to information technologies in the stage of elaboration of a road project (containment structures) and building (structural component), due to its characteristics it is of a descriptive level and of non-experimental design. For this, a BIM execution plan (PEB), structure modeling, information management, views and plans and project closure were developed. When developing the application, called metric for quantification of materials from 3D modeling in Autodesk Revit, I can demonstrate the efficiency of the extraction of information in real time, the planning tables are already configured and customized according to the type of project; the ease of use of the user interface is intuitive; The portability of the application has no limit of installations to other devices, and interoperability cannot be directly linked, but it can be exported to an editable file.

Keywords: Automation, information management, virtual modeling.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

Durante los últimos años se ha demostrado que los errores en los expedientes técnicos constituyen uno de los principales motivos de demora, paralizaciones y ampliaciones del plazo de ejecución de las obras públicas, esto se debe a que los miembros del equipo técnico del proyecto elaboran individualmente cada una de las partes del expediente técnico, es decir, no existe coordinación e integración; por lo tanto, no resultan eficientes, eficaces y transparentes. Los proyectos realizados, de esta manera tradicional, presentan inconsistencias en el expediente técnico lo cual es aprovechado por los ejecutores, sobre todo en obras gestionadas por la modalidad de contrata, derivando en el incremento de costos y ampliación de tiempos. Para superar los errores en los expedientes técnicos es necesario que todos los integrantes del proyecto utilicen un sistema que represente digital e integralmente todas las características físicas y funcionales de lo que se construirá.

En ese sentido, la metodología BIM (modelado de información de construcción) ha demostrado que contribuye a lograr la eficiencia en las obras públicas y que permite integrar toda la documentación del proyecto en un solo sistema, con esto se evita la información contradictoria entre las distintas especialidades que participan. Además, el Ministerio de Economía y Finanzas ([MEF] 2019) establece la incorporación progresiva de herramientas obligatorias de modelamiento digital de la información para la ejecución de obras públicas.

La presente tesis tiene como objetivos (1) desarrollar la automatización de gestión de información a partir de un modelo virtual 3D para cuantificación de materiales del



componente estructural en la etapa de elaboración del proyecto; (2) desarrollar un aplicativo para automatizar gestión de información a partir de un modelo virtual 3D para cuantificación de materiales del componente estructural del proyecto y (3) desarrollar una guía para gestionar proyectos BIM para estandarizar la gestión de modelado virtual; de esta manera se puede gestionar eficientemente la información contenida de los elementos del proyecto.

1.2. Justificación del Proyecto.

En el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones se estableció como prioridad la incorporación progresiva de la metodología BIM en los procesos de inversión de entidades y empresas públicas para mejorar la transparencia, calidad, eficiencia, colaboración y coordinación en obras públicas (MEF, 2019).

El cálculo de cuantificación de materiales se realiza en la etapa de elaboración, según la magnitud, del proyecto de edificación; por lo tanto, de seguir con el sistema tradicional de cálculo de cuantificación de materiales, seguirá generando retrasos y/o sobrecostos en la etapa de ejecución. Para optimizar los recursos que se emplean se desarrollará, en la metodología BIM, la automatización para la gestión de información (evolución de los sistemas tradicionales) ya que incorpora información del modelo virtual (3D), ejecución en el tiempo (4D), costos (5D), ambiental (6D) y, funcionamiento y mantenimiento (7D), lo que permitirá una mejor gestión de información del modelado 3D para el cálculo de presupuestos en los proyectos en actividades tales como:

- Tablas de planificación y costos con Revit.
- Interoperabilidad de base de datos con BIM.
- La configuración del presupuesto.
- Generación de la estructura de trabajo.
- Adición de costos unitarios.



- Extracción de cómputos.
- Exportación de fichero de notas clave.
- Conexión de partidas y elementos de modelado.
- Actualización de relación de cómputos.
- Configuración de reportes de presupuesto.

1.3. Objetivos de la Investigación.

1.3.1. Objetivo general.

Desarrollar la automatización de gestión de información a partir de un modelo virtual 3D para cuantificación de materiales del componente estructural en la etapa de elaboración del proyecto.

1.3.2. Objetivo específico.

- a. Desarrollar un aplicativo para automatizar gestión de información a partir de un modelo virtual 3D para cuantificación de materiales del componente estructural del proyecto.
- b. Desarrollar una guía para gestionar proyectos BIM.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación.

Entre las investigaciones relacionadas a la presente investigación se encuentran:

Huatuco (2017) en su estudio de los modelos virtuales BIM 3D y 4D integrando la herramienta *Last Planer System* en la ejecución del caso estructural de una residencial “La Gloria II” realizado en el distrito de San Miguel, Lima. Aplicó tecnologías de información y simulación digital en la construcción con el objetivo de implementar los modelos virtuales en un proyecto de edificación en las reuniones de planificación semanal y compararla con una etapa sin modelos virtuales. Asimismo, complementa las observaciones de campo con encuestas a los participantes de las reuniones semanales. Llegó a la conclusión de que la implementación de los modelos virtuales requiere de un adecuado flujo de comunicación y un singular compromiso entre los participantes, más aún en las etapas finales, los cuales comprenden las reuniones de planificación y la transmisión del mensaje hacia el constructor. Sin ello, el modelo virtual no aporta al cumplimiento de los objetivos del proyecto. También que, el equipo BIM, requiere como mínimo un proyector, pues facilita la visualización del trabajo programado de distintas partidas, y un líder que maneje los modelos y promueva la participación de los planificadores mediante preguntas tipo ¿qué necesita para concluir con la siguiente tarea?, ¿posee suficiente material?, ¿los equipos se encuentran operativos?, entre otras.

Braul y Ríos (2018) en su estudio cuyo objetivo fue elaborar un modelo 3D del casco estructural de un edificio multifamiliar “Quinta Arrieta” realizado en el distrito de Barranco, Lima. Estudio que a partir de planos 2D, en la etapa de licitación del proyecto, utilizaron las tecnologías de información y simulación digital en la construcción. Demostraron que el BIM permite obtener metrados de una manera más exacta si se



definen bien los procesos y se estandariza el modelado. Esto significa que durante el proceso de modelado los involucrados deben conocer la utilidad del modelo, lo cual implica contar con un equipo capacitado en el uso de software y un equipo para el análisis y verificación de resultados.

Urbina y Dueñas (2018) han realizado investigaciones en dos proyectos en etapa de ejecución: caso 1, “Complejo deportivo Santa Rosa” ubicado en Panamericana Sur-Tacna; y, caso 2, “Ciudad Nueva - Condominio Canta Callao” ubicado en Callao-Lima. Determinaron las características más relevantes de los dos casos de estudio: un proyecto repetitivo y otro no repetitivo. En la programación se utilizó líneas de flujo y modelos BIM 4D y se llegó a la conclusión de que, en proyectos no repetitivos dada su complejidad de la planificación y la programación y los riesgos que esta representa, es conveniente trabajar con elementos prefabricados y maximizar la industrialización de la construcción. Esta acción transfiere los riesgos *in-situ* al proveedor. Se considera que la programación desarrollada a partir del uso de líneas de flujo puede ser utilizada para estructurar flujos de paquetes de trabajo de tal forma que, se les den prioridad a los elementos según el orden y secuencia en el que se van a montar en obra. Esto contribuiría, en gran magnitud, a realizar los movimientos mínimos de los elementos en campo; con no almacenar gran cantidad de piezas con peso significativo; mantener despejada, limpia y libre de obstáculos el área de trabajo; evitar que se dañen o se afecten las piezas que no están siendo utilizadas; y evitar los tiempos de esperas o tiempos perdidos que representa realizar todas las actividades antes mencionadas. No obstante, estos requerimientos demandan que no se generen retrasos en la fabricación ni en el envío, ya que si estas actividades se retrasan todo el proyecto se ve afectado considerablemente y las cuadrillas no contarían con trabajo suplente que pueda equiparar las pérdidas generadas.



León y Salazar (2017) aplicaron la metodología de ingeniería de valor en un proyecto inmobiliario de ocho sótanos y 17 pisos, ubicado en el distrito de Miraflores, Lima. En el estudio denominado: “Desarrollo alternativas que impliquen costos más bajos de los conductores de costos en la fase de diseño” se determinó que la metodología de ingeniería de valor y su aplicación a los proyectos de ingeniería civil bajo metodología BIM es una propuesta con alto potencial para ahorrar. Dicho potencial varía en el tiempo, pues los beneficios podrán ser mayores mientras más pronto se aplique la metodología descrita; además, las propuestas como alternativas de solución se generan más rápido con herramientas BIM.

Muñoz y Pardavé (2018) desarrollaron una metodología con herramientas BIM para optimizar la productividad de los procesos de planificación y ejecución del sistema de muros cortina stick, en la etapa de ejecución de SUNAT-Benavides, ubicado en el distrito de Surco-Lima. Se llegó a la siguiente conclusión: El margen de desperdicios en ocasionado por errores de diseño se redujo de 8.3% a 0%, en la etapa producción del último proyecto ejecutado por la empresa donde laboraban los tesisas, ya que estos se detectaron a tiempo, logrando así que el material designado al proyecto se optimice en su totalidad. Además, se mejoró en un 11.36% la productividad en la etapa de producción.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. BIM (*Building Information Modelling*).

ISO 19650-1 (2018) define al BIM como “el uso de la representación digital compartida de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación para formar una base confiable para las decisiones”.

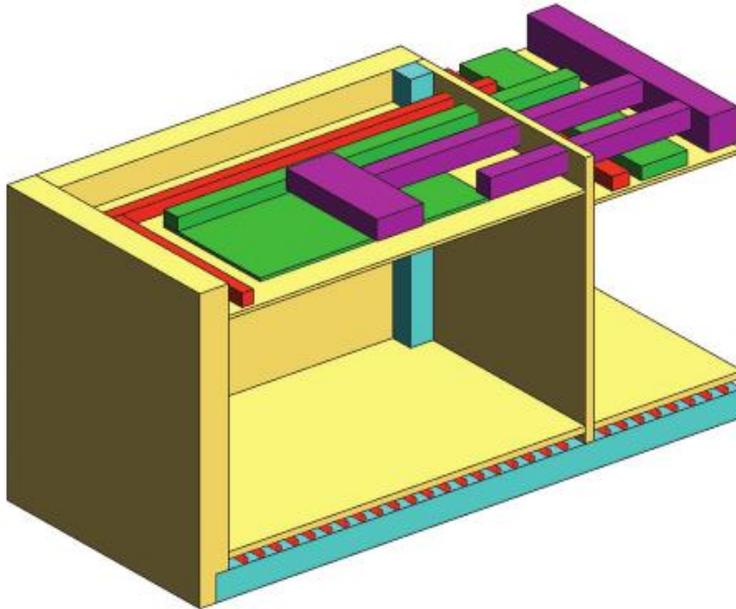
Según el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda urbana, en el documento de difusión “¿qué es el BIM?” (2016) define al BIM como una metodología de trabajo colaborativo que documenta todo el ciclo de vida de la edificación y las infraestructuras,

haciendo uso de herramientas informáticas con el fin de generar un repositorio único con toda la información útil para todos los agentes que participan en él y durante todo su ciclo de vida.

Para Autodesk (2020) el BIM, que puede traducirse al español como "Información del modelado de la construcción", es una filosofía de trabajo que radica en la creación y manejo de toda la información que se genera al momento de concebir una obra de ingeniería.

Figura 1:

Illustration of spatial federation strategy by discipline in a building Project ISO 19650-1 (2018)



Nota: ISO 19560-1(2018)

2.2.2. Gestión de información.

2.2.2.1. Información.

ISO 19650-1 (2018) define la información como “representación reinterpretable de datos de una manera formalizada adecuada para la comunicación, interpretación o procesamiento”.



2.2.2.2. *Plan de ejecución BIM.*

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2019) define al plan de ejecución BIM como el documento que se elabora y acompaña cada fase del desarrollo o ejecución de la inversión, contiene las características técnicas, roles, funciones, metodología de trabajo e hitos y productos a entregar para que la inversión incorpore el modelo BIM. Asimismo, el plan de ejecución BIM debe ser actualizado conforme a las modificaciones que se presenten durante la ejecución de la inversión pública.

2.2.2.3. *Niveles de desarrollo de elementos BIM (LOD).*

El nivel de desarrollo hace referencia al incremento del modelado de elementos físicos específicos del objeto BIM es un tipo de información gráfica Barco (2018). Término más conocido como LOD (*Level of Development*).

De acuerdo al MVCS (2019) se incluye uno de los siguientes LOD:

a) *LOD 100.*

- El nivel de detalle gráfico del elemento BIM es un símbolo u otra representación similar, por ejemplo, una figura en 2D o un volumen simple.
- El nivel de detalle no gráfico del elemento BIM es de carácter general y/o referencial desde otros elementos del modelo, por ejemplo, características técnicas, costos, entre otros.
- Las características del elemento BIM tienen muy altas probabilidades de cambiar al avanzar el diseño.
- Usualmente asociado a la etapa de prediseño.



b) LOD 200.

- El nivel de detalle gráfico del elemento BIM es un sistema, objeto o ensamblaje genérico, con cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximados, por ejemplo, un volumen.
- El nivel de detalle no gráfico del elemento BIM es de carácter general y/o referencial desde otros elementos del modelo, por ejemplo, las características técnicas, costos, entre otros.
- Las características del elemento BIM tienen altas probabilidades de cambiar al avanzar el diseño.
- Usualmente asociado a la etapa de anteproyecto en consulta.

c) LOD 300.

- El nivel de detalle gráfico del elemento BIM es un sistema, objeto o ensamblaje específico con características de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación, precisos y detallados. Estos, tal como se diseñaron, se pueden medir directamente desde el modelo sin hacer referencia a información no modelada, por ejemplo, las notas o cotas.
- El nivel de detalle no gráfico del elemento BIM y/o modelo BIM está definido y ubicado con precisión respecto al origen del proyecto e incluye información no gráfica específica.
- El modelo BIM está en capacidad de producir planos u otros documentos propios del expediente técnico y de ser utilizado para detectar interferencias.
- Las características del modelo BIM tienen pocas probabilidades de cambiar en las siguientes etapas del proyecto.
- Usualmente asociado a la etapa de proyecto básico.



d) *LOD 350.*

- El nivel de detalle gráfico del elemento BIM es modelado como un sistema, objeto o ensamblaje específico con características de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interacción con otros sistemas del edificio u obra de construcción.
- Se modelan las piezas necesarias para la coordinación y compatibilización del elemento BIM con otros elementos cercanos o conectados. Estas partes pueden incluir elementos tales como soportes y conexiones.
- El modelo ha pasado por un proceso de compatibilización y detección de interferencias.
- El elemento BIM, tal como se diseñó, se puede medir directamente, sin hacer referencia a información no modelada, por ejemplo, las notas o cotas.
- El nivel de detalle no gráfico del elemento BIM es específico, por ejemplo, especificaciones técnicas, metrados, costos, fechas de determinación del presupuesto, análisis de precios, entre otros.
- El modelo BIM está en capacidad de producir planos u otros documentos propios del expediente técnico. Las características del modelo BIM tienen muy pocas probabilidades de cambiar en las siguientes etapas del proyecto, pero sí pueden definirse más características con mayor precisión.
- Usualmente asociado a la etapa de proyecto detallado.

e) *LOD 400.*

- El nivel de detalle gráfico del elemento BIM es modelado como un sistema, objeto o ensamblaje específico con características de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interacción con otros sistemas del edificio u obra de construcción, con la precisión necesaria para la fabricación, montaje y la instalación del elemento representado. Asimismo, las piezas necesarias para la coordinación del elemento BIM



son modeladas con otros elementos cercanos o conectados y pueden incluir elementos tales como soportes y conexiones.

- El elemento BIM se puede medir directamente desde el modelo BIM sin hacer referencia a información no modelada, por ejemplo, las notas o cotas.
- El nivel de detalle no gráfico del elemento BIM y/o modelo BIM incluye detalles de fabricación, montaje e información específica de instalación, por ejemplo, especificaciones técnicas, metrados, costos, fechas de determinación del presupuesto, análisis de precios, entre otros.
- El modelo BIM está en capacidad de producir planos de fabricación, montaje y ejecución u otros documentos propios del expediente técnico.
- Es improbable que varíen las características o especificaciones del modelo BIM.
- Usualmente asociado a la etapa de construcción y fabricación.

f) LOD 500.

- El elemento BIM y/o modelo BIM es una información, gráfica y no gráfica, del proyecto finalizado, en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad, orientación y cualquier otra información relevante.
- El modelo BIM está en capacidad de producir planos del proyecto finalizado y en operación.
- No varían las características o especificaciones del modelo BIM.
- Tanto la información contenida en el modelo conforme a proyecto finalizado, así como en el modelo de estado actual debe ser fidedigna con la realidad construida.

2.2.2.4. Plataforma BIM.

El MVCS (2019) considera las siguientes características de los elementos de la plataforma BIM:



a) *En el software.*

- Precisar las especificaciones técnicas.
- Permitir la integración de los modelos BIM de las diferentes especialidades presentes en el proyecto y de las diferentes etapas del proyecto.
- Tener la capacidad para contener toda la información gráfica y no gráfica del proyecto, tanto en 3D como en 2D; importar y exportar información a formatos IFC y a programas vectoriales CAD.
- La arquitectura del software debe permitir el desarrollo de modelos paramétricos.
- Permitir que toda la información pueda ser extraída directamente de los modelos BIM, de manera que toda la volumetría pueda ser representada por el software en vistas 2D y que cualquier data no geométrica, pueda ser vinculada o ingresada a los elementos que conforman los modelos de información.
- Indicar la versión del software utilizado por cada uno de los diferentes usuarios en el diseño, visualización, comunicación, seguimiento y control, simulación, entre otros.

b) *En el hardware.*

- Precisar las especificaciones técnicas para soportar el proyecto según el uso requerido: modelado, revisión, extracción de información, visualización, entre otros, a fin de garantizar el uso eficiente del modelo BIM por todas las partes interesadas.

c) *En el protocolo de comunicación.*

- Precisar los medios de comunicación y la información a transmitirse, durante el manejo del Modelo BIM.
- Considerar y permitir la comunicación sincrónica y asincrónica.
- El software a utilizar debe ser multiplataforma.
- Definir las funciones jerárquicas y datos de contacto de todos los participantes en el proyecto que tengan acceso al modelo BIM o a la información del mismo.



d) *En el entorno común de datos (ECD).*

Se debe sustentar la capacidad para:

- Incorporar, consultar y obtener la información del proyecto, tanto archivos como comunicaciones entre los interesados (correos electrónicos, órdenes de cambio, tareas, consultas, etc.).
- Compartir información mediante enlaces.
- Facilitar la búsqueda de información mediante filtros, etiquetas, entre otros.
- Controlar las versiones.
- Visualizar y anotar los archivos y modelos.
- Gestionar modelos integrados.
- Gestionar accesos: Niveles de acceso a la información y al modelo BIM.
- Incorporar flujos de trabajo integrados en la gestión de la documentación, aprobaciones, comentarios, u otros.
- Planificar de manera colaborativa el proyecto en BIM que incluye los requerimientos de información de la entidad, plan de ejecución BIM, protocolos, niveles de detalle e información y gestión estructurada de los datos.

2.2.3. Automatización BIM.

2.2.3.1. Interoperabilidad.

Barco (2018) define la interoperabilidad como la habilidad de dos más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar esta información. La interoperabilidad en términos del desarrollo de proyecto BIM se podría entender como la habilidad de intercambiar la información entre diferentes softwares.

En función a los diferentes usos y objetivos del proyecto, así como los diferentes softwares que se utilicen, tenemos que decidir los flujos de información entre los diferentes programas:

- Coordinación entre modelos de diferentes disciplinas o plataformas o ambos.
- Presentaciones, infografías y videos.
- Interoperabilidad entre programas de modelado y de cálculo estructural.
- Interoperabilidad cruzada entre diferentes programas de cálculo.
- Interoperabilidad entre programas de modelado y de cálculo de instalaciones.
- Mediciones y presupuestos.
- Interoperabilidad entre programas de modelado y planificación 4D.
- Interoperabilidad entre programas de modelado y de costos 5D.
- Interoperabilidad entre programas de modelado y FM.
- Otras simulaciones.
- Interoperabilidad con BBDD existentes.

En la Tabla 1 y en la Tabla 2 se muestran las herramientas de la familia BIM y los formatos de intercambio de información, respectivamente.

Tabla 1:

Herramientas de la familia BIM

Software	Extensión
Revit	.rvt, .rte, .rfa, .rft
Navisworks	.nwd, .nwc, .nwf
Civil3D	.civil3d
Archicad	.pla

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 2:

Formatos de intercambio de información

Tipo de información	Formato
Intercambio de modelos unificados	IFC
Intercambio de datos de geometría	DXF
Intercambio de datos de cálculo	IFCXML

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

2.2.3.2. API. Entorno de desarrollo.

Braúl y Ríos (2018) señalan que la interfaz de programa de aplicación (API) es un conjunto de rutinas, protocolos y herramientas para crear aplicaciones de software. Los proveedores de software proporcionan API para dar a los desarrolladores de terceros los elementos básicos para desarrollar aplicaciones complementarias. Las API son un mecanismo que puede utilizarse para exportar información desde una aplicación BIM para su uso mediante aplicaciones de cálculo de costos.

Las herramientas BIM no necesariamente se adaptan para cada empresa, entidad o proyectos y, es por ello, los proveedores de los softwares ofrecen a los desarrolladores programar y personalizar sus aplicaciones de acuerdo a sus necesidades y posibilidades. Autodesk dispone a sus usuarios la API.NET de Revit que, permite programar en lenguaje compatible con C#, Python, JavaScript y otros como lo muestra la Figura 2.

Figura 2:

Implementación de External Application en C#

```
24 namespace AUTOMATIZACION_BIM // NOMBRE DEL PROYECTO
25 {
26     // COMUNICACION CON AUTODESK REVIT
27     [Transaction(TransactionMode.Manual)]
28
29     // IMPLEMENTACION DE INTERFAZ COMO "CLASE PUBLICA" EN EXTERNAL APPLICATION
30     1 referencia
31     public class APPLICATION : IExternalApplication
32     {
33         // 1. Acciones al finalizar Autodesk Revit
34         0 referencias
35         public Result OnShutdown(UIControlledApplication application)
36         {
37             throw new NotImplementedException();
38         }
39
40         // 2. Implementar el interfaz al iniciar Autodesk Revit
41         0 referencias
42         public Result OnStartup(UIControlledApplication application)
43         {
44             1. "Generar el titulo"
45             return Result.Succeeded;
46         }
47     }
48 }
```

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

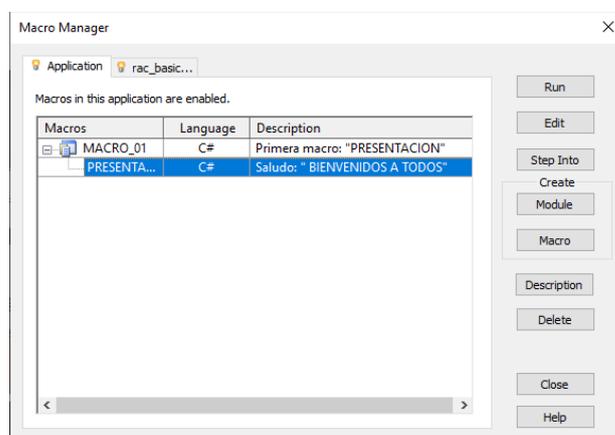
Dentro de la programación de la API de *Revit* tenemos dos opciones de desarrollo de programación:

a) *Macros.*

Es parte de la gestión de información de *Revit* disponible dentro del interfaz del software. Se puede programar dentro del proyecto creado y disponible solo para esta versión o, como una aplicación externa disponible para otros proyectos. En la Figura 3 se muestra la programación macro de *Revit*.

Figura 3:

Programación macro de Revit

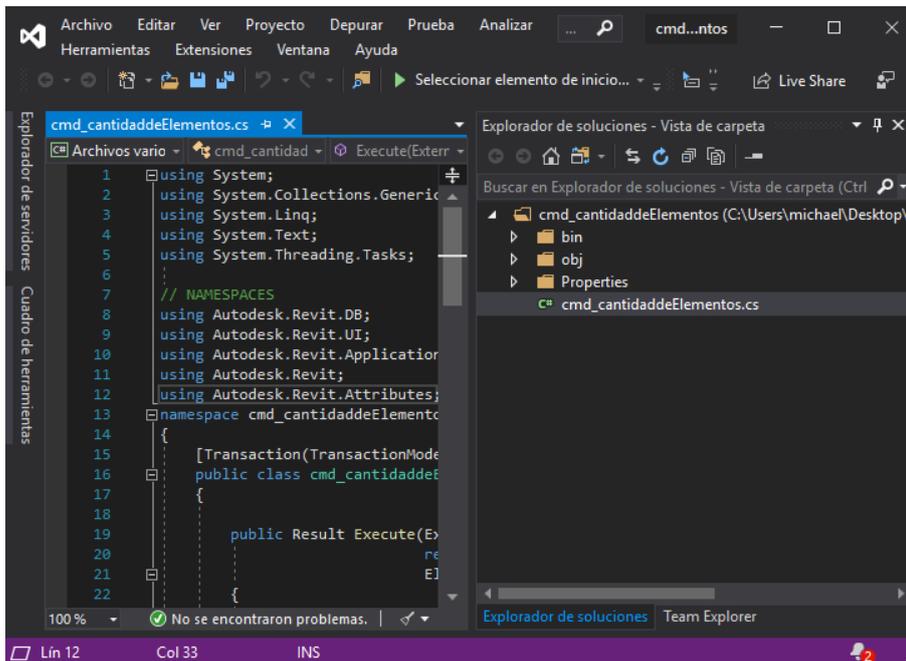


Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

b) *Visual Studio.*

Es una programación externa que se desarrolla dentro del software *Visual Studio* y con el lenguaje de programación *C sharp* y mediante un llamado manifiesto se genera para reconocer el código de programación dentro de software *Revit*. En la Figura 4 se muestra el *Visual Studio*

Figura 4:
Programación en Visual Studio



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

El tipo de personalización se desarrolla en Visual Studio es como un comando externo (se ejecuta desde la barra de ADD-INS) o una aplicación externa (permite crear paneles y cinta de opciones).

2.2.4. Metrado.

Según el MEF (2019), en la Ley de Contrataciones del Estado (LCE), el metrado es el cálculo o la cuantificación por partidas de la cantidad de obra a ejecutar, según la unidad de medida establecida.

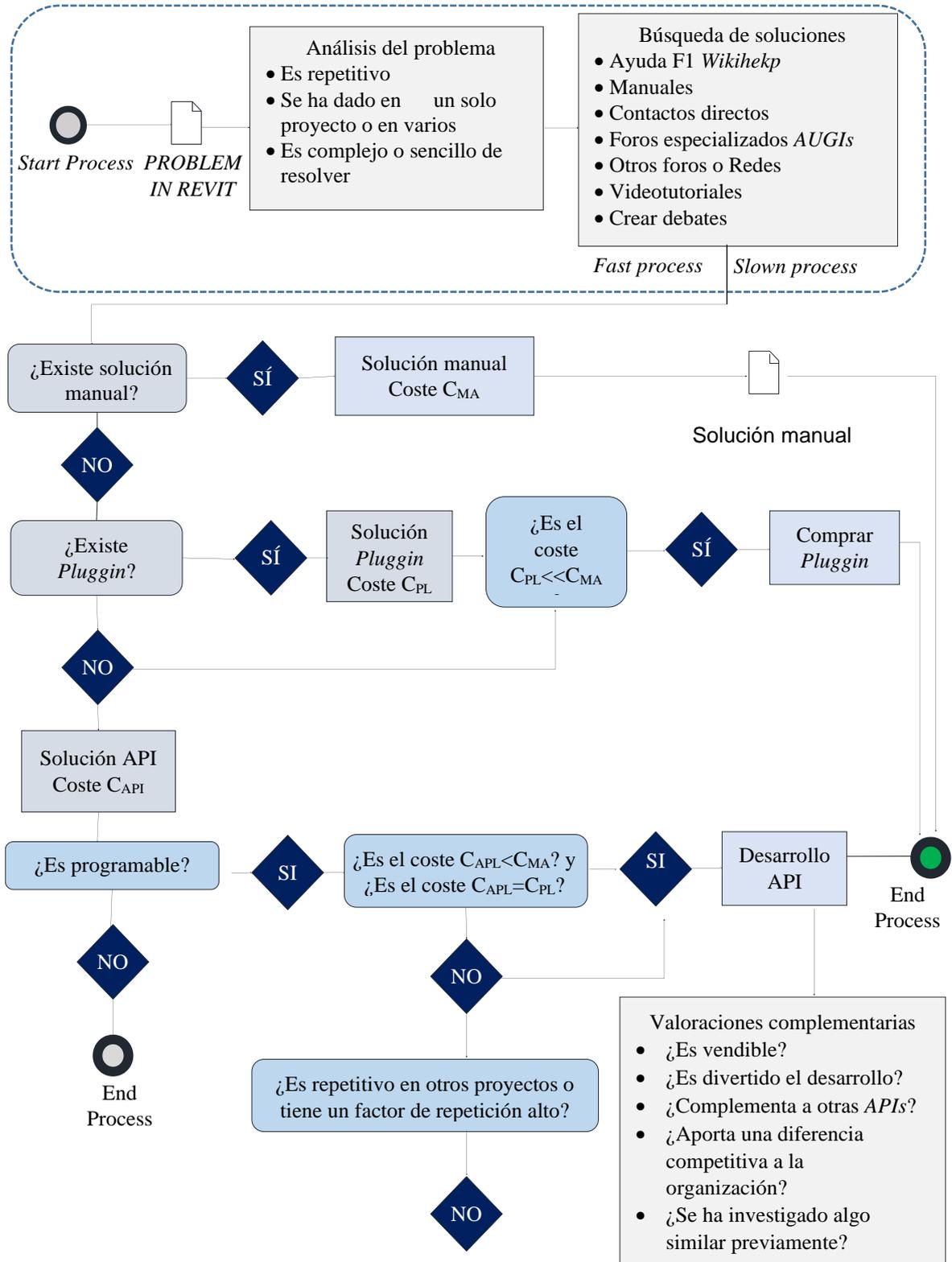
También, Miano (2014) define al metrado como el conjunto ordenado de datos obtenidos de los planos o determinados de las lecturas acotadas, preferentemente, y con excepción con lecturas a escala de las diferentes partidas a cuantificar de la obra correspondiente.



2.2.4.1. *Tablas de planificación.*

Autodesk (2020), define como plantillas de vista que se aplican a tablas de planificación, cálculos de materiales, listas de planos, listas de vistas, bloques de notas y vistas creadas a partir de un montaje.

Figura 5:
Proceso de solución de problemas de software BIM y viabilidad de desarrollo de las API



Nota: Adaptado de Barco (2018)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología de la investigación.

3.1.1. Tipo de investigación.

La presente investigación es de tipo aplicada a tecnologías de información y simulación digital; debido a que, se automatiza la gestión de información de cuantificación de metrado en modelo 3D.

3.1.2. Nivel de investigación.

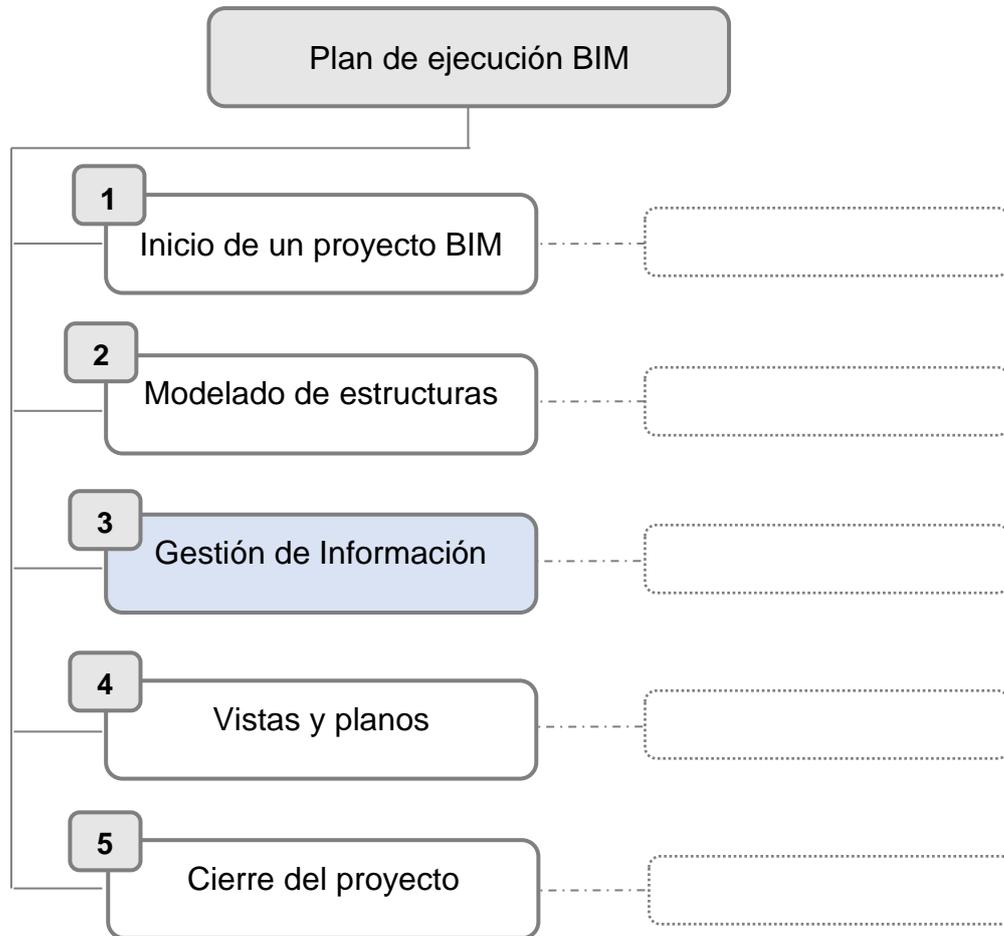
Por sus características es de nivel descriptivo-aplicativo. Se realizó la programación del aplicativo en proyectos de ingeniería reales.

3.1.3. Diseño de investigación.

Por la naturaleza de la investigación es de diseño no experimental en un entorno de modelamiento virtual debido a que se ensayó en un proyecto vial (estructuras de contención) y en un proyecto de edificación (componente estructuras). Los dos proyectos intervenidos en la fase de diseño (anteproyecto). En la figura 6 se muestra el plan de ejecución BIM.

Figura 6:

Plan de ejecución BIM (PEB)



Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

3.1.4. Población y muestra.

Para el presente trabajo se ha estudiado dos proyectos en la etapa de elaboración, un proyecto vial (estructuras de contención) y uno de edificación (componente estructural).

El primer proyecto que se estudió se denominó: “Mejoramiento del servicio de la transitabilidad del eje de integración vial norte entre la intersección de la Av. Las Torres - Vía pe - 34a, hasta la intersección con la Av. Italia - Av. Aviación, distritos Yura y Cerro Colorado, provincia de Arequipa, región Arequipa, componente vías tramo I, 2020”. Se realizó el modelo virtual 3D (modelo paramétrico) en el componente estructural de muros



de contención para luego desarrollar la viabilidad de automatización de gestión de cuantificación de materiales de los elementos del modelado BIM.

El segundo proyecto que se estudió se denominó: “Mejoramiento del servicio académico de pregrado de la E.P. de Artes-FIAG de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, distrito, provincia y región Tacna, 2020”. Se realizó el modelo virtual 3D (modelo paramétrico) en el componente estructural de la edificación para luego desarrollar la viabilidad de automatización de gestión de cuantificación de materiales de los elementos del modelado BIM.

3.1.5. Instrumentos.

Para el presente estudio se ha utilizado herramientas BIM, para modelado de los elementos estructurales y gestión de información se desarrolló en el software de *Autodesk Revit* v.2020.02. Durante el proceso de automatización se empleó el lenguaje de *C Sharp* y se programó en *Visual Studio Community* 2019 v.16.2.3. resultado de la automatización el aplicativo llamado Métrica para cuantificación de materiales.

3.1.6. Primer caso de estudio.

Mejoramiento del servicio de la transitabilidad del eje de integración vial norte entre la intersección de la Av. Las Torres - vía pe - 34a, hasta la intersección con la Av. Italia - Av. Aviación, distritos Yura y Cerro Colorado, provincia de Arequipa, región Arequipa, componente vías tramo I.

Iniciación del proyecto BIM.

a) Plan de ejecución BIM.

En la Tabla 3 se muestra el Plan de ejecución BIM para estructuras de contención del proyecto vial.

Tabla 3:

Hitos del plan de ejecución BIM (proyecto vial, estructuras contención)

N.º	Hito	Entregable	Fecha inicio	Fecha entrega
1	Inicio del proyecto		1/10/2020	11/10/2020
1.1	Plan de ejecución BIM		2/10/2020	6/10/2020
1.2	Estándares del proyecto		7/10/2020	7/10/2020
1.3	Estructura de datos		7/10/2020	7/10/2020
1.4	Configuración de datos del modelo		7/10/2020	7/10/2020
1.5	Configuración de estructura del modelo		8/10/2020	8/10/2020
1.6	Estrategias de objetos BIM		8/10/2020	8/10/2020
1.7	Configuración de grafismo		9/10/2020	10/10/2020
2	Modelado de estructuras		12/10/2020	22/10/2020
2.1	Aspectos generales		12/10/2020	12/10/2020
2.2	Elementos de referencia		12/10/2020	12/10/2020
2.3	Elementos de cimentación		13/10/2020	13/10/2020
2.4	Elementos de muros		14/10/2020	14/10/2020
2.5	Elementos de acero estructural		15/10/2020	21/10/2020
3	Gestión de información		23/10/2020	25/10/2020
3.1	Metrado tradicional de estructuras		23/10/2020	23/10/2020
3.2	Automatización de metrados de estructuras		24/10/2020	24/10/2020
4	Vistas y planos		26/10/2020	1/11/2020
4.1	Montaje de vistas		26/10/2020	27/10/2020
4.2	Montaje de planos		28/10/2020	31/10/2020
5	Cierre del proyecto		2/11/2020	4/11/2020
5.1	Automatización de gestión de información		2/11/2020	3/11/2020

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

b) *Estándares del proyecto.*

El único estándar de calidad para auditar proyectos BIM es la ISO 19650 y la Resolución Ministerial N° 242-2019-Vivienda:

- ISO 19650, Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) —Information management using building information modelling.
- RM N° 242-2019-VIVIENDA, lineamientos generales para el uso del BIM en proyectos de construcción.

El cumplimiento de los estandartes BIM no es obligatorio, excepto el DS N° 289-2019-EF que establece la incorporación progresiva de herramientas obligatorias de modelamiento digital.

c) *Estructura de datos.*

Se presenta la Tabla 4 que muestra la estructura de carpetas del proyecto.

Tabla 4:

Estructura de carpetas del proyecto

Estructura de carpetas del proyecto	
Carpetas	Descripción
1. Comunicaciones	
1.1. Envíos	Registro de comunicaciones con los participantes del proyecto
1.2. Recibidos	Registro de comunicaciones con los participantes del proyecto
2. Gestión y recursos	
2.1. Antecedentes	Documentación previa al proyecto
2.2. Informe técnico proyecto	Documentación técnica del proyecto
2.3. BIM	Inicio de modelado del proyecto
2.3.1. Familias	Modelado 3D
2.3.2. Grilla y Plano de referencia	Modelado 3D
2.3.3. Materiales	Modelado 3D
2.3.4. Modelo 3D	Modelado 3D
2.3.5. Parámetros	Modelado 3D
2.4. Automatización	Automatización de procesos
2.4.1. Desarrollo de Métrica	Aplicativo

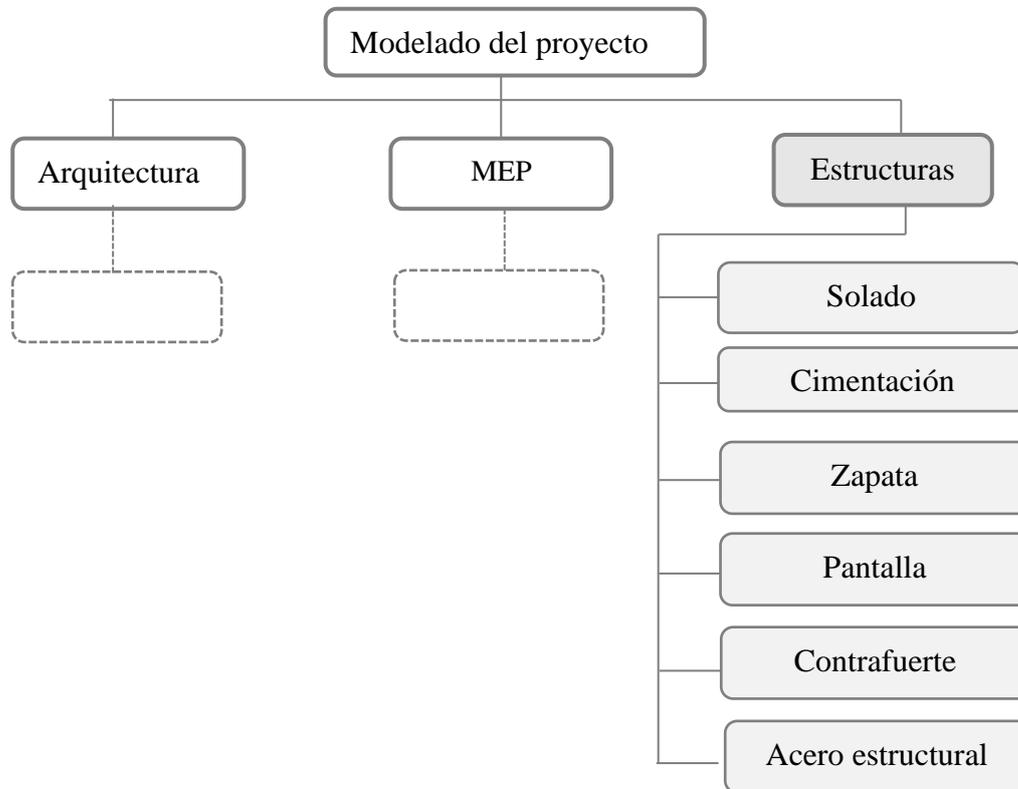
Nota: Adaptado de Barco (2018)

d) *Configuración de modelado.*

Definir claramente las disciplinas para el correcto modelado de la información. Se presenta la Figura 7 que muestra y la Figura 8.

Figura 7:

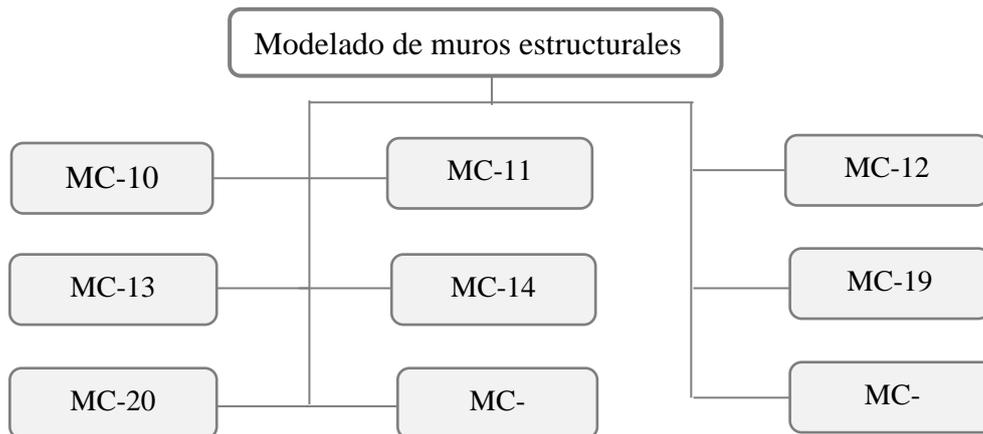
Configuración de modelado de muros estructurales



Nota: adaptado de ISO: 19650-1(2018)

Figura 8:

Modelado de muros estructurales



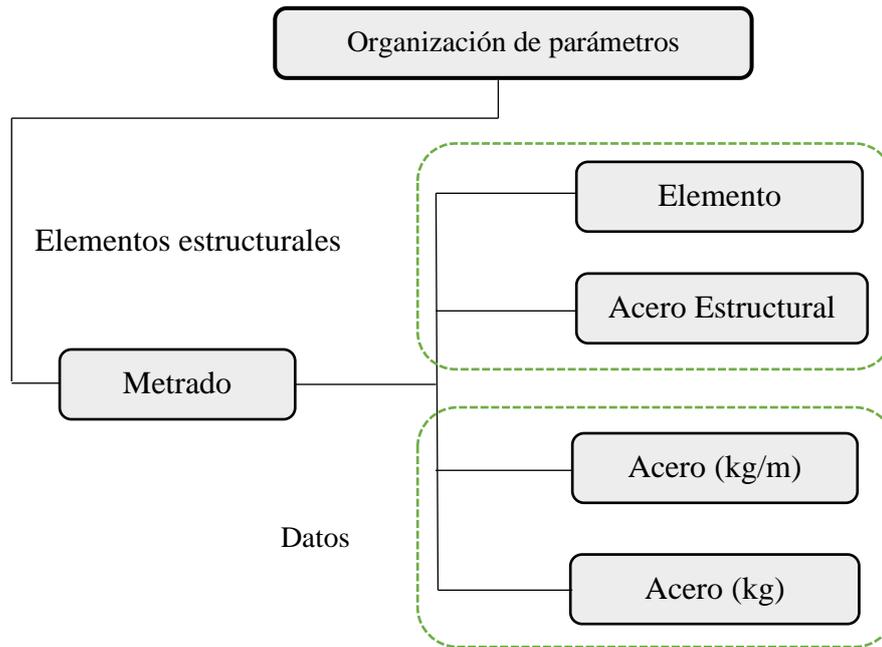
Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

e) *Configuración de estructura de modelado.*

La información contenida en el modelado del proyecto se controló de acuerdo a los parámetros asignados a cada elemento, como se muestra en la Figura 9 y, tabla 5 y 6.

Figura 9:

Organización de parámetros, estructuras de contención



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 5:

Parámetros compartidos del proyecto, estructuras de contención

Parámetros compartidos				
Descripción	Grupo parámetro	Disciplina	Tipo parámetro	Nombre
Elementos Estructurales				
Solado	Metrado	Común	Texto	Elemento
Cimiento	Metrado	Común	Texto	Elemento
Zapata	Metrado	Común	Texto	Elemento
Pantalla	Metrado	Común	Texto	Elemento
Contrafuerte	Metrado	Común	Texto	Elemento
Acero refuerzo	Metrado	Común	Texto	Acero estructural
Datos				
Acero metrado	Metrado	Común	Número	Acero kg/m
Acero metrado	Metrado	Común	Peso	Acero (kg)

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla 6:

Parámetros del proyecto

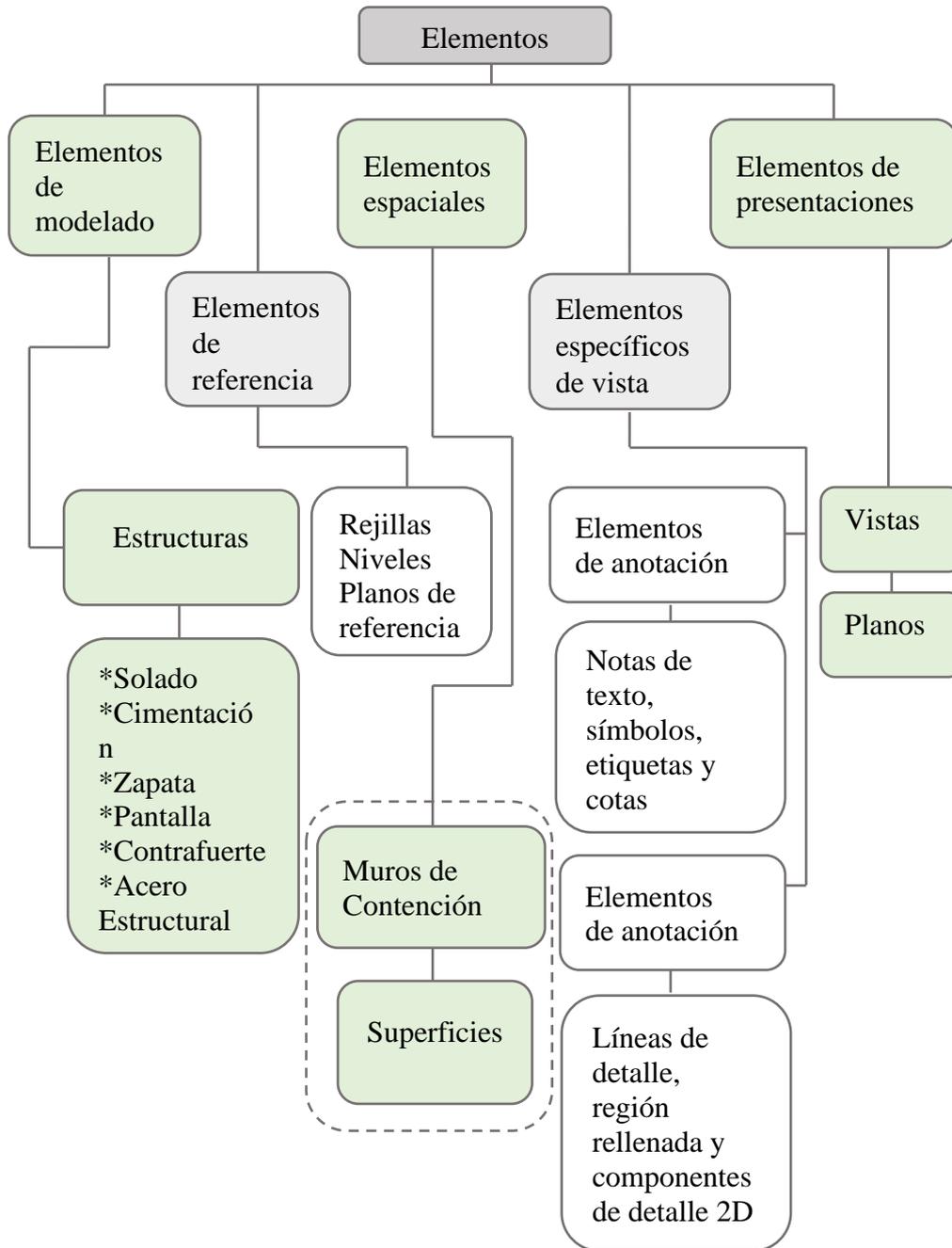
PARÁMETRO PROYECTO							
Descripción	Parámetro	Grupo parámetro	Tipo parámetro	Nivel información			
				D1	D2	D3	D4
Elementos Estructurales							
Solado	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Cimiento	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Zapata	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Pantalla	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Contrafuerte	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Acero refuerzo	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Datos							
Acero kg/m	Compartido	Construcción	Tipo	x			
Acero (kg)	Compartido	Construcción	Tipo	x			

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

f) Estrategias de objetos BIM.

Figura 10:

Esquema de modelado de objetos BIM de estructuras de contención



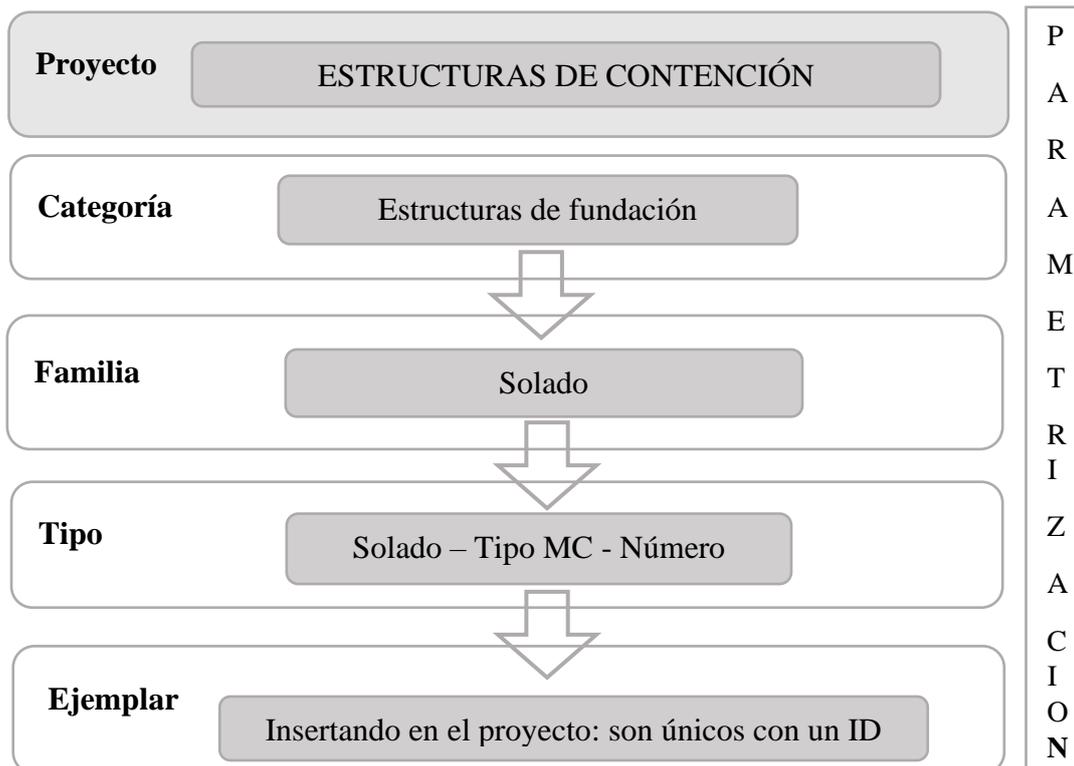
Nota: Adaptado de Barco (2018)

g) *Configuración de grafismo.*

La configuración de la jerarquía de los elementos ayuda a controlar el grafismo del proyecto.

Figura 11:

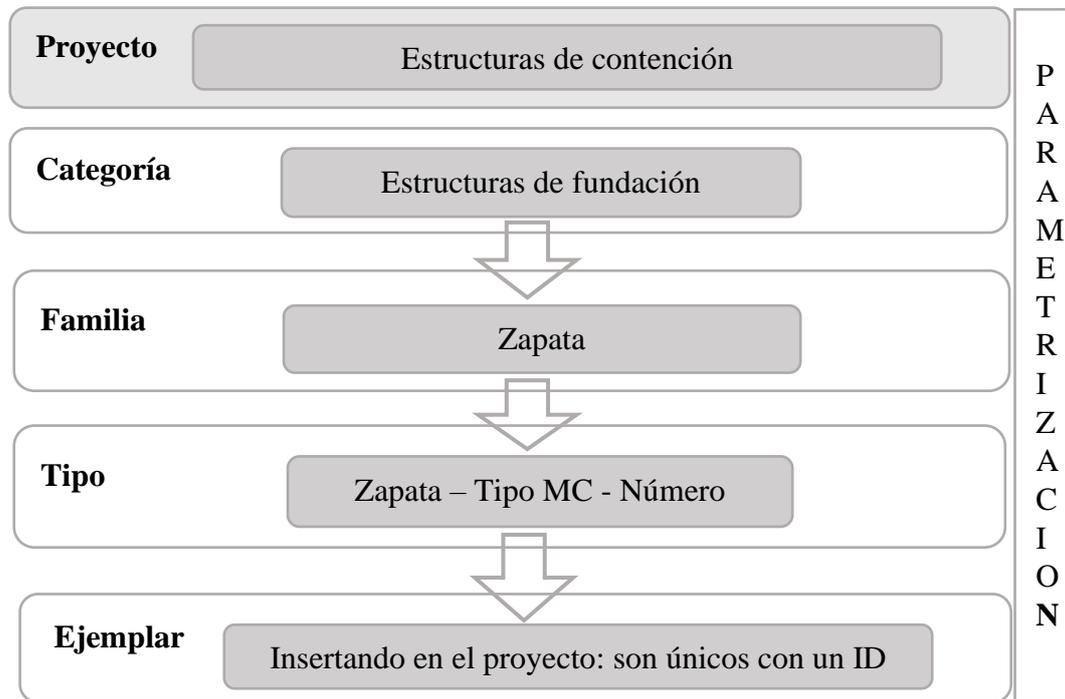
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias solado



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 12:

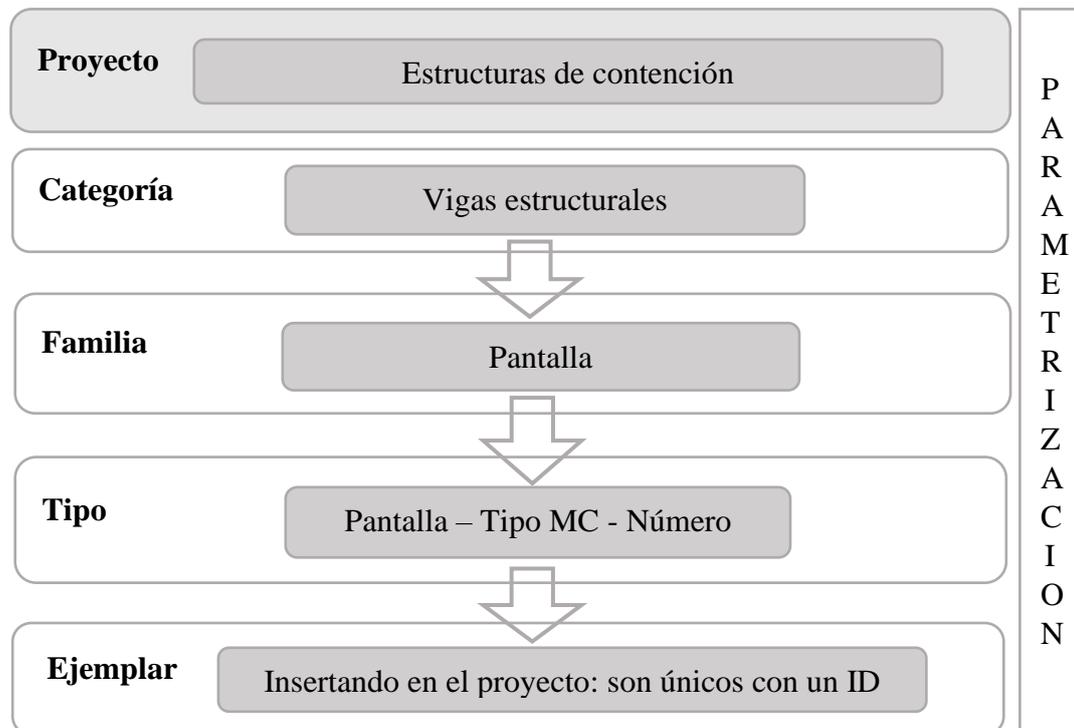
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias zapata



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 13:

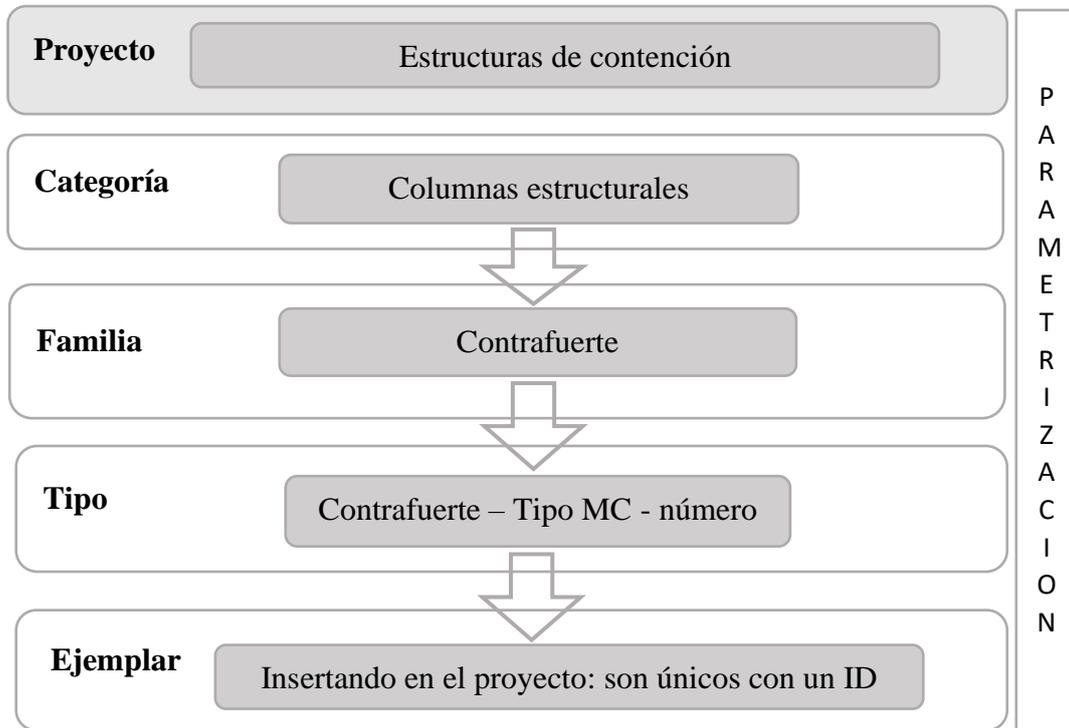
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, pantalla



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 14:

Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, contrafuerte



Nota: Adaptado de Barco (2018)

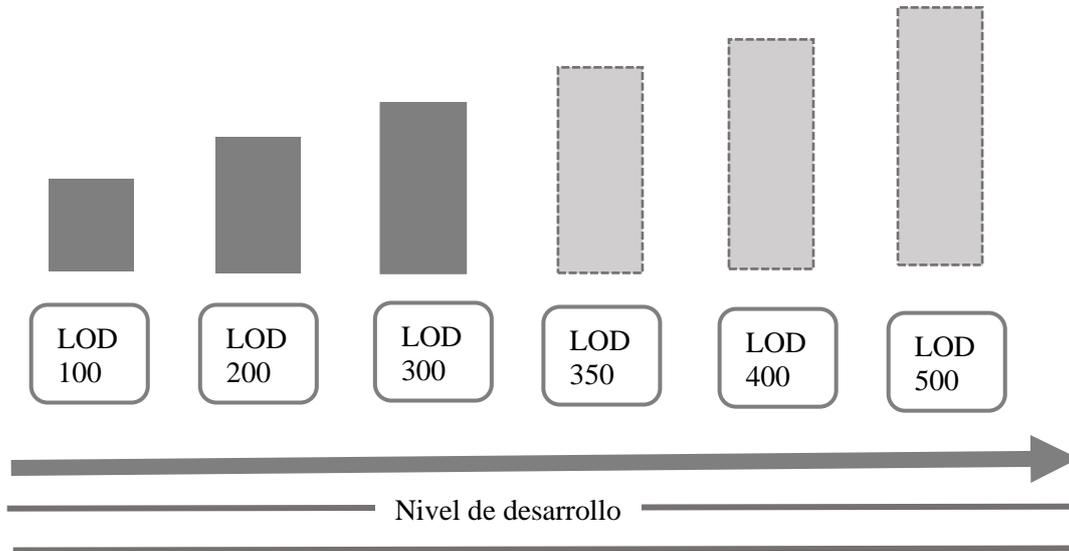
Desarrollo de modelado de estructuras.

h) Aspectos generales.

Según el Estándar Británico, que es la transición de la ISO 19650, se define el nivel BIM de la gestión de información del modelado; para el presente proyecto se ha considerado el nivel 1 (Level 1), esto quiere decir, un modelado independiente por especialidad, como se muestra en la Figura 15.

Figura 15:

Nivel de desarrollo del proyecto



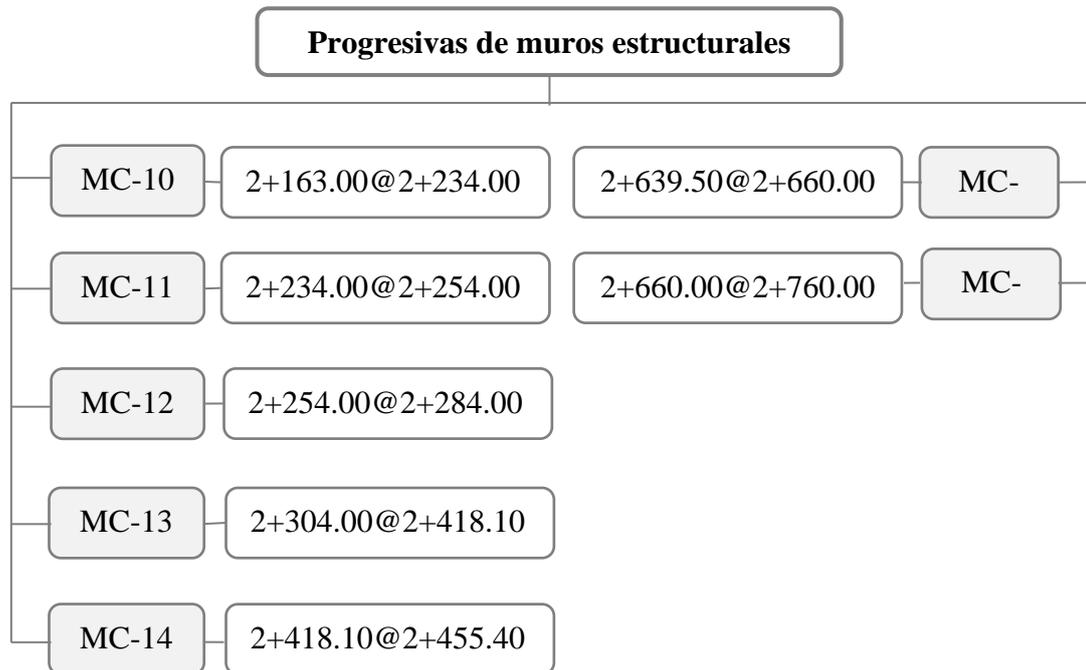
Nota: Adaptado de MVCS (2019)

i) Elementos de referencia.

La creación de niveles y rejillas es base para iniciar con el modelado de muros de contención. Los niveles definen las alturas verticales y las alturas de piso, en cambio, las rejillas son para referenciar la ubicación de elementos estructurales. En la Figura 16 se muestra.

Figura 16:

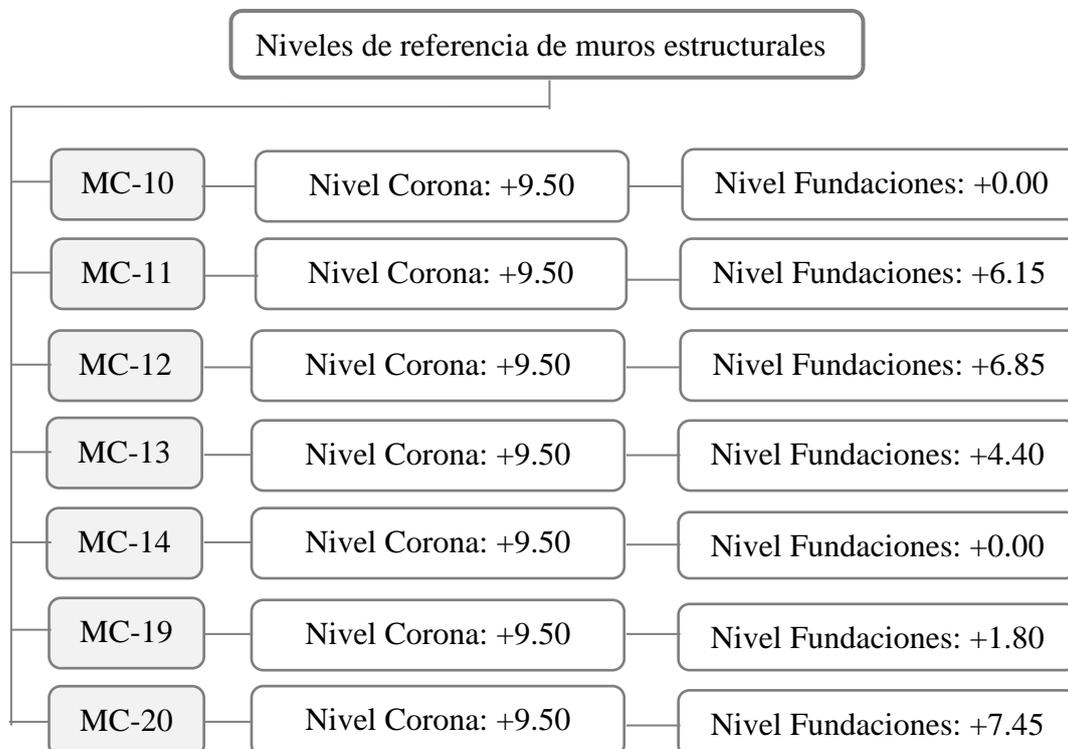
Progresiva de muros estructurales



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 17:

Nivel de referencia de muros estructurales



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



j) Cimentación.

Los elementos estructurales de concreto armado que pertenecen a la categoría “estructuras de fundación”, para estructuras de contención, son:

- Solado
- Zapatas aisladas
- Cimientos corridos

Tabla 7:

Nivel de detalle gráfico de zapata, estructuras de contención

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: Structural Foundations	Familia: Zapata	Tipo: Zapata-T-5-1
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de la zapata		<p>G1</p>
Sección definida de la zapata		<p>G2</p>
Representación de la zapata con acero estructural.		<p>G3</p>

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

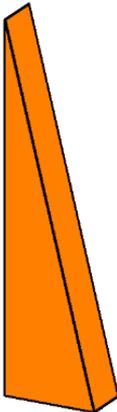
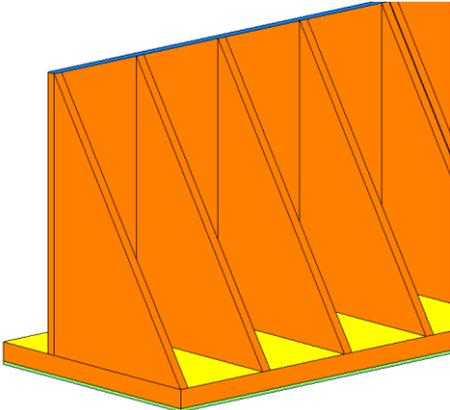
k) *Elementos verticales.*

Los elementos de modelado que pertenecen a esta categoría son “columnas estructurales”. Para estructuras de contención se considera lo siguiente:

- Contrafuerte

Tabla 8:

Nivel de detalle gráfico de contrafuerte, estructuras de contención.

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>Structural Columns</i>	Familia: Contrafuerte	Tipo: Contrafuerte-T-5-1
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de contrafuerte del muro	G1	
Sección definida de contrafuerte del muro	G2	
Representación de contrafuerte del muro con acero estructural.	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

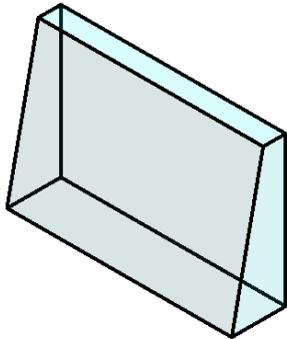
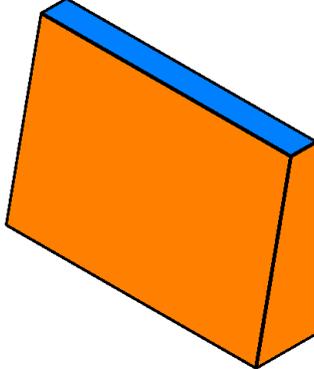
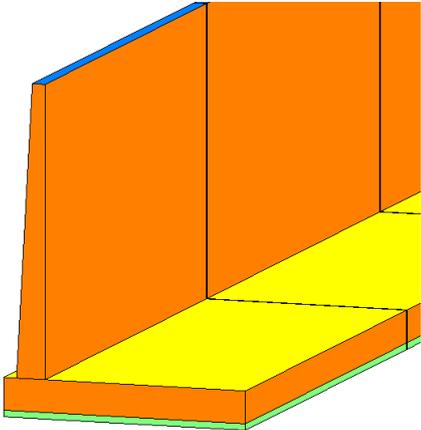
l) *Elementos horizontales.*

Los elementos estructurales que pertenecen a esta categoría denominados “vigas estructurales” y serán identificadas de acuerdo a sus parámetros generados (altura, longitud y espesor). Para estructuras de contención pertenecen:

- Pantalla

Tabla 9:

Nivel de detalle gráfico para pantalla, estructuras de contención.

Nivel de detalle gráfico		
<i>Categoría:</i> structural framing	<i>Familia:</i> pantalla	<i>Tipo:</i> pantalla-T-5-1
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de pantalla de muro	G1	
Sección definida de pantalla de muro	G2	
Representación de pantalla de muro con acero estructural.	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)



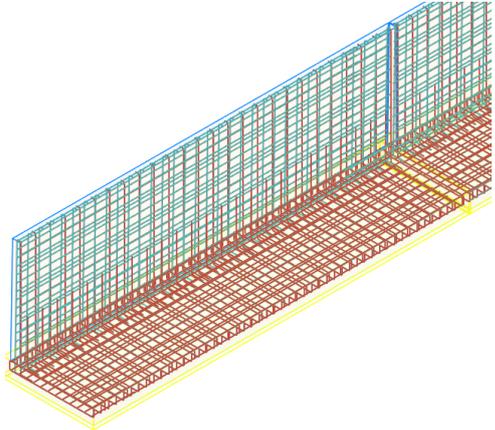
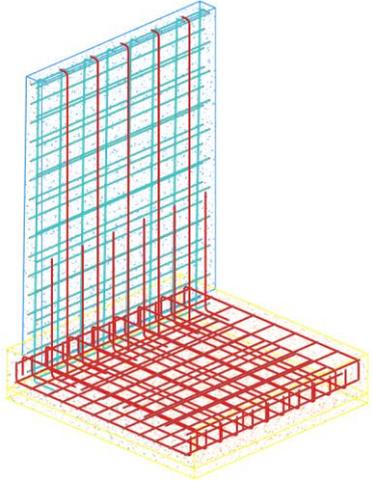
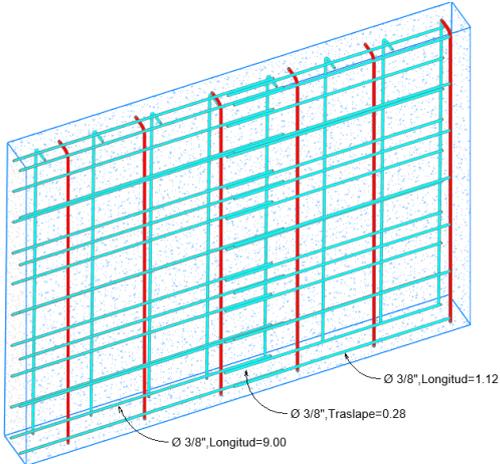
m) *Acero estructural.*

El acero de refuerzo que pertenece a esta categoría “*Structural rebar*” son acero corrugado de grado 60 con esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm² y, son los siguientes:

- Acero corrugado $\Phi = 3/8"$
- Acero corrugado $\Phi = 1/2"$
- Acero corrugado $\Phi = 5/8"$
- Acero corrugado $\Phi = 3/4"$
- Acero corrugado $\Phi = 1"$

Tabla 10:

Nivel de detalle gráfico de acero estructural, estructuras de contención

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: Structural Rebar	<i>Familia: Rebar bar Ø 1/2"</i>	Tipo: Contrafuerte-T-2-1
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de acero de refuerzo en muro estructural.	G1	
Sección definida de acero de refuerzo.	G2	
Representación de acero de refuerzo en la pantalla estructural del muro.	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Gestión de información.

Gestionar la información de cuantificación de metrado de materiales a partir de modelos virtuales 3D en la etapa de diseño de un proyecto vial (estructuras de contención). Para lo cual, los elementos que componen el modelado de estructuras deberán estar correctamente asignados para la parametrización de cada uno de ellos.

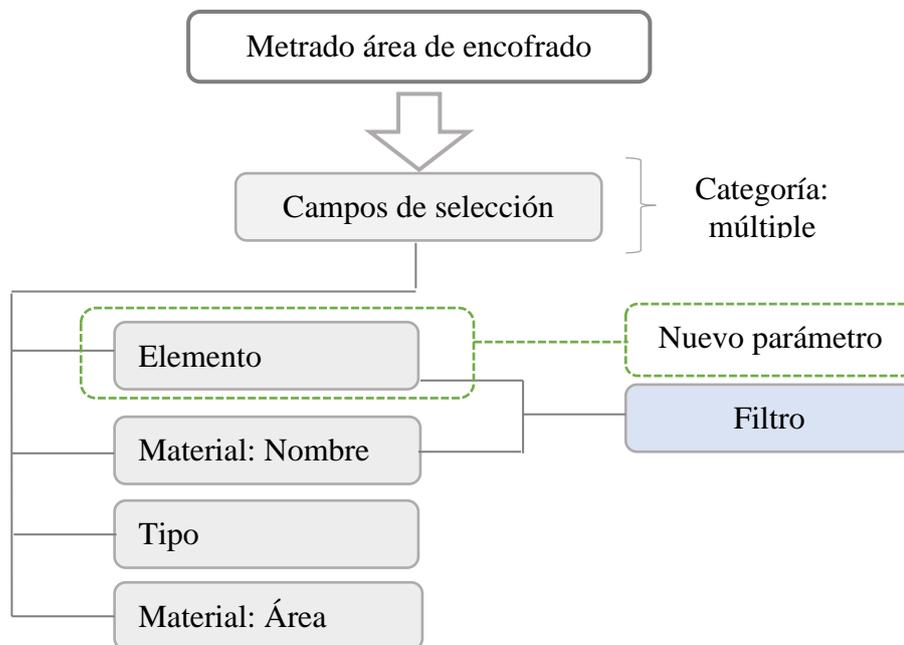
n) Tablas de planificación de metrados.

Las tablas de planificación para cuantificación de materiales de los elementos del modelo son imprescindibles para el manejo de datos en tiempo real. Toda la gestión de información está basada en el control paramétrico de los elementos que conforman el proyecto y esto permite la flexibilidad de edición de los mismos.

Para la presente investigación se obtuvo metrados para la especialidad de estructuras a partir de modelos virtuales ya generados. La gestión de información de metrado es de volumen de concreto y área de encofrado, como se muestra en la Figura 18

Figura 18:

Configuración metrado tradicional de área de encofrado



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 11:

Gestión de Información de estructuras de contención

Estructuras contención			
Elementos	Gestión de Información para metrados		
	Área	Volumen	Longitud
Solado	Concreto	Concreto	-----
Cimientos	Encofrado	Concreto	Acero refuerzo
Zapatas	Encofrado	Concreto	Acero refuerzo
Pantalla	Encofrado	Concreto	Acero refuerzo
Contrafuerte	Encofrado	Concreto	Acero refuerzo

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 12:

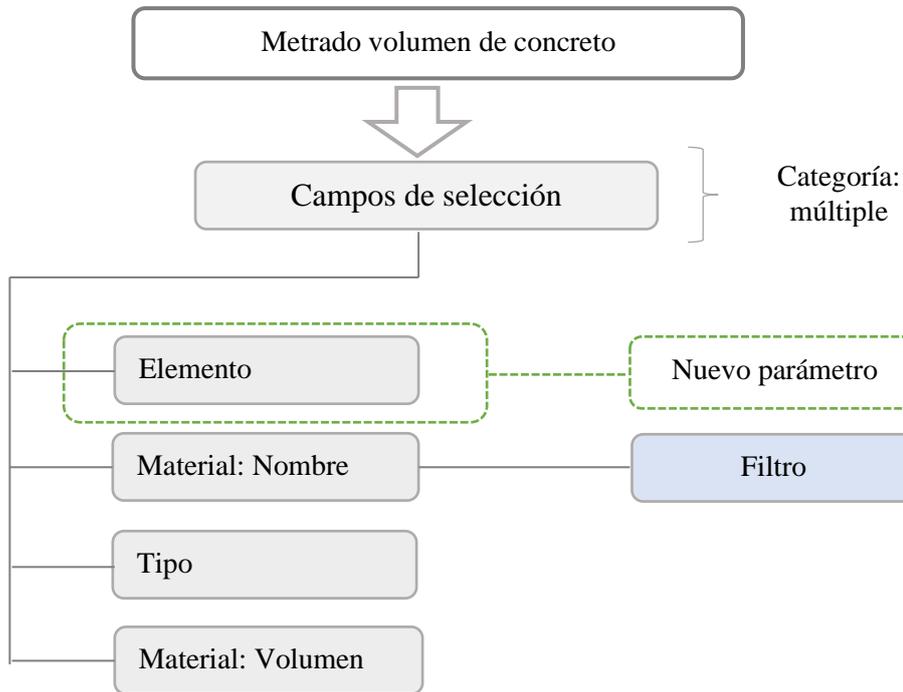
Tabla de planificación de encofrado de pantalla, estructuras de contención

<5. Encofrado Pantalla>			
A	B	C	D
Elemento	Type	Material: Area	Material: Volume
Pantalla			
Pantalla	Pantalla-T-2-1	58.12 m ²	0.00 m ³
Pantalla	Pantalla-T-2-2	58.12 m ²	0.00 m ³
Grand total: 2		116.23 m²	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 19:

Configuración metrado tradicional de volumen de concreto



Nota: Elaborado por el equipo técnico

Tabla 13:

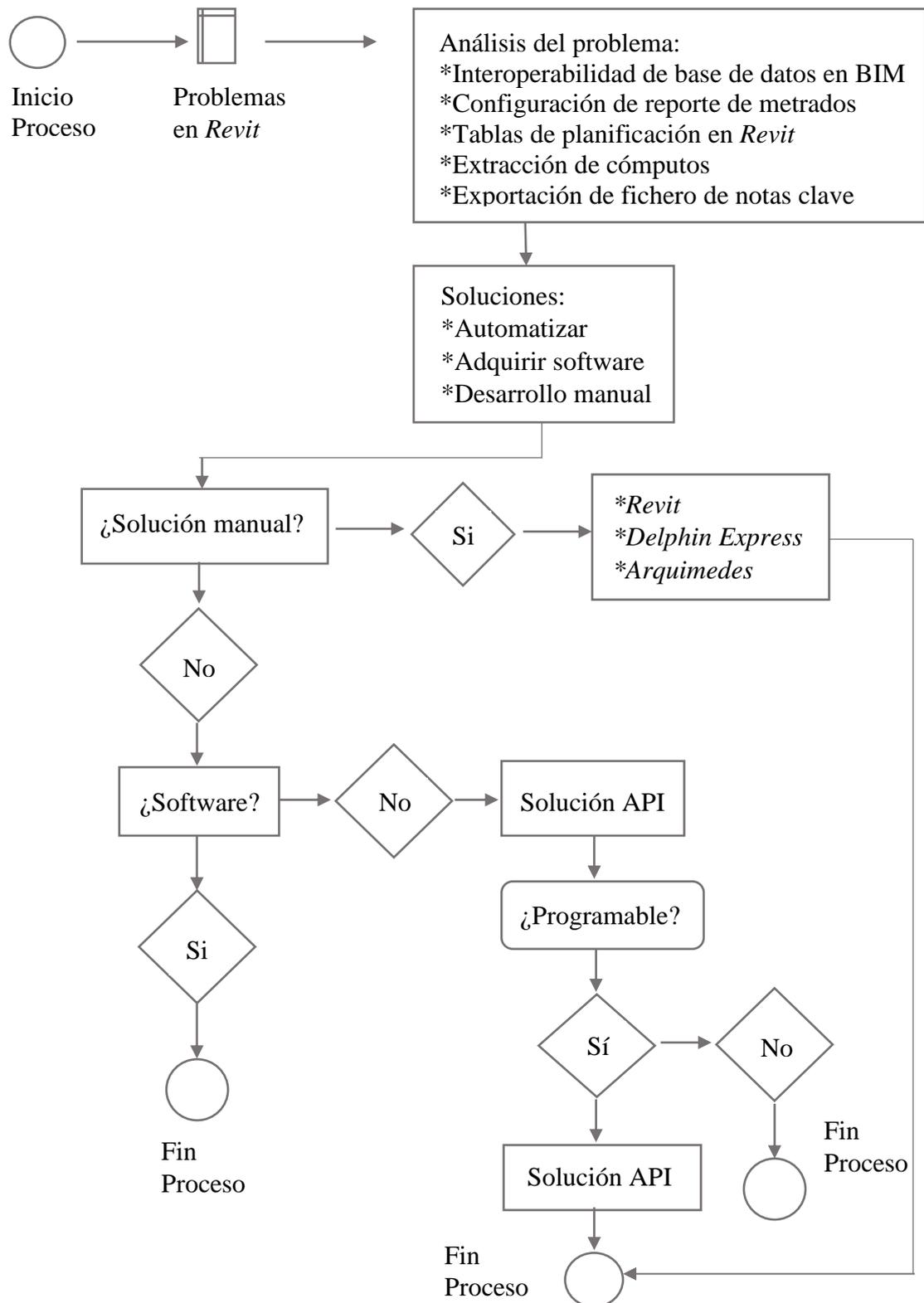
Tabla planificación, concreto en pantalla, estructuras de contención

<3. Concreto Pantalla, f'c=210 kg/cm2>		
A	B	C
Elemento	Type	Material: Volume
Pantalla		
Pantalla	Pantalla-T-2-1	0.00 m³
Pantalla	Pantalla-T-2-1	6.39 m³
Pantalla	Pantalla-T-2-2	0.00 m³
Pantalla	Pantalla-T-2-2	6.39 m³
Grand total: 4		12.79 m³

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

- o) *Automatización de cuantificación de materiales.*

Figura 20:
Viabilidad de desarrollo de la API



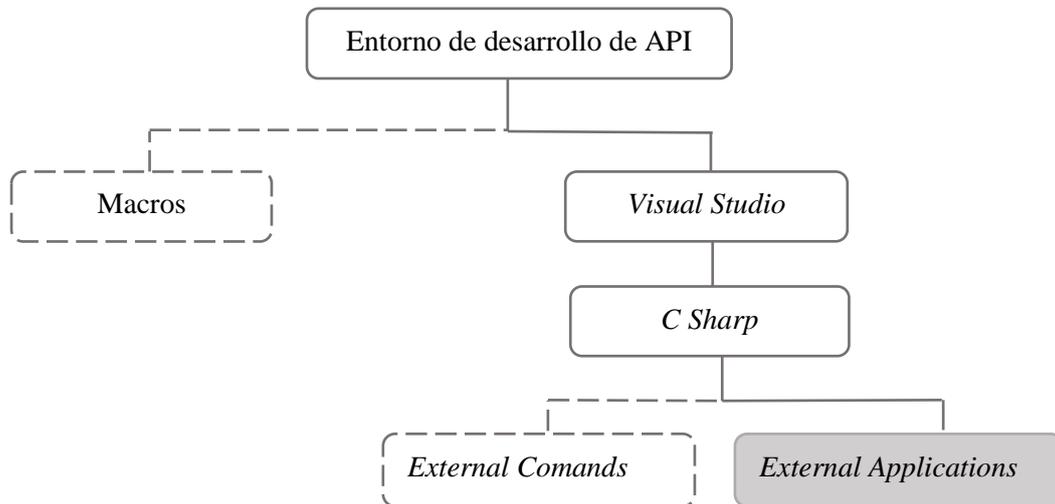
Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Para la investigación se implementó la automatización de cuantificación de materiales de los componentes estructurales de la edificación. *Autodesk Revit* proporciona a la comunidad de programadores y dedicados al rubro de la construcción un complemento denominado API (*Application Programming Interface*) para personalizar las funciones y vincular con software de *Revit*.

La *External Application* es la manera más personalizada de desarrollar para el usuario y versatilidad en el manejo.

Figura 21:

Entorno de desarrollo de API

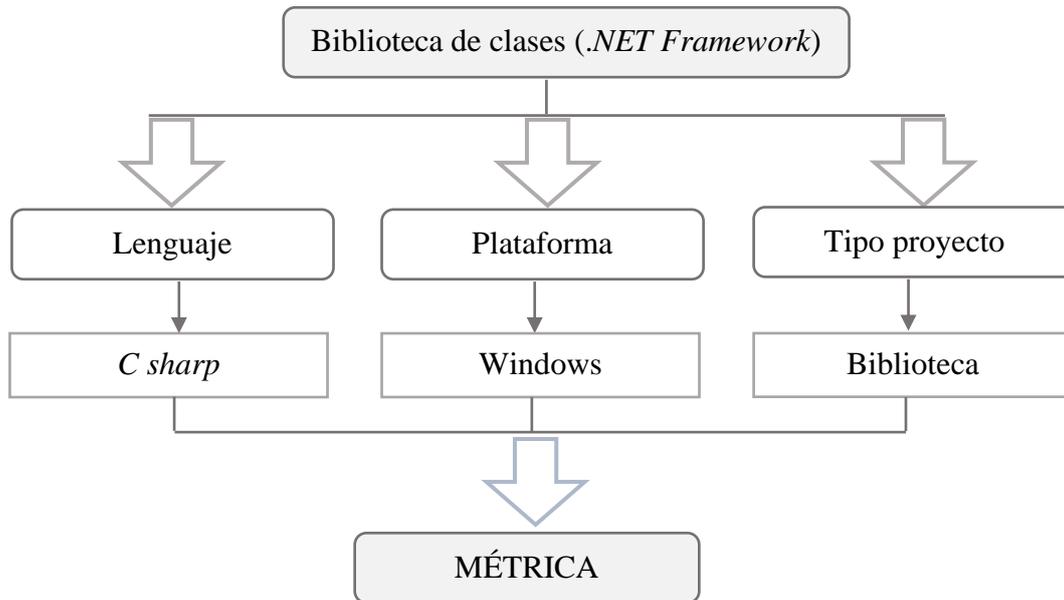


Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

La implementación de la aplicación externa denominado “métrica” se genera en un nuevo proyecto dentro de Visual Studio para su desarrollo y su implementación de muestra como de la figura 22.

Figura 22:

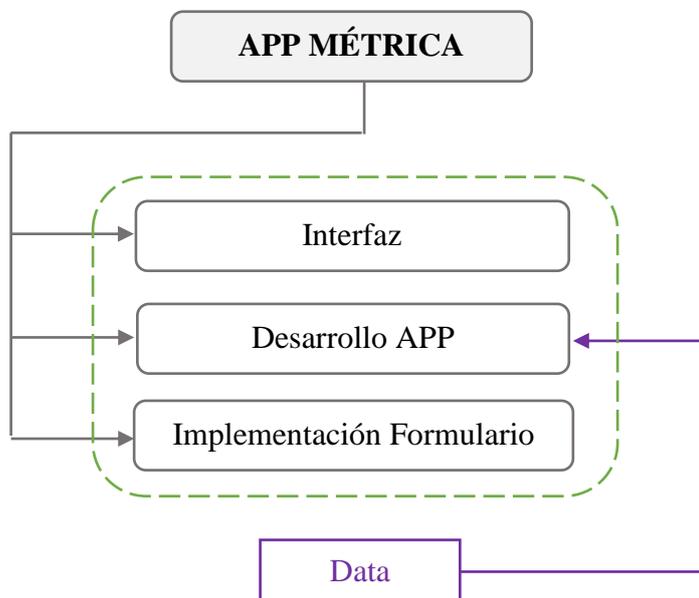
Entorno de desarrollo de la aplicación externa "métrica" en Visual Studio



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 23:

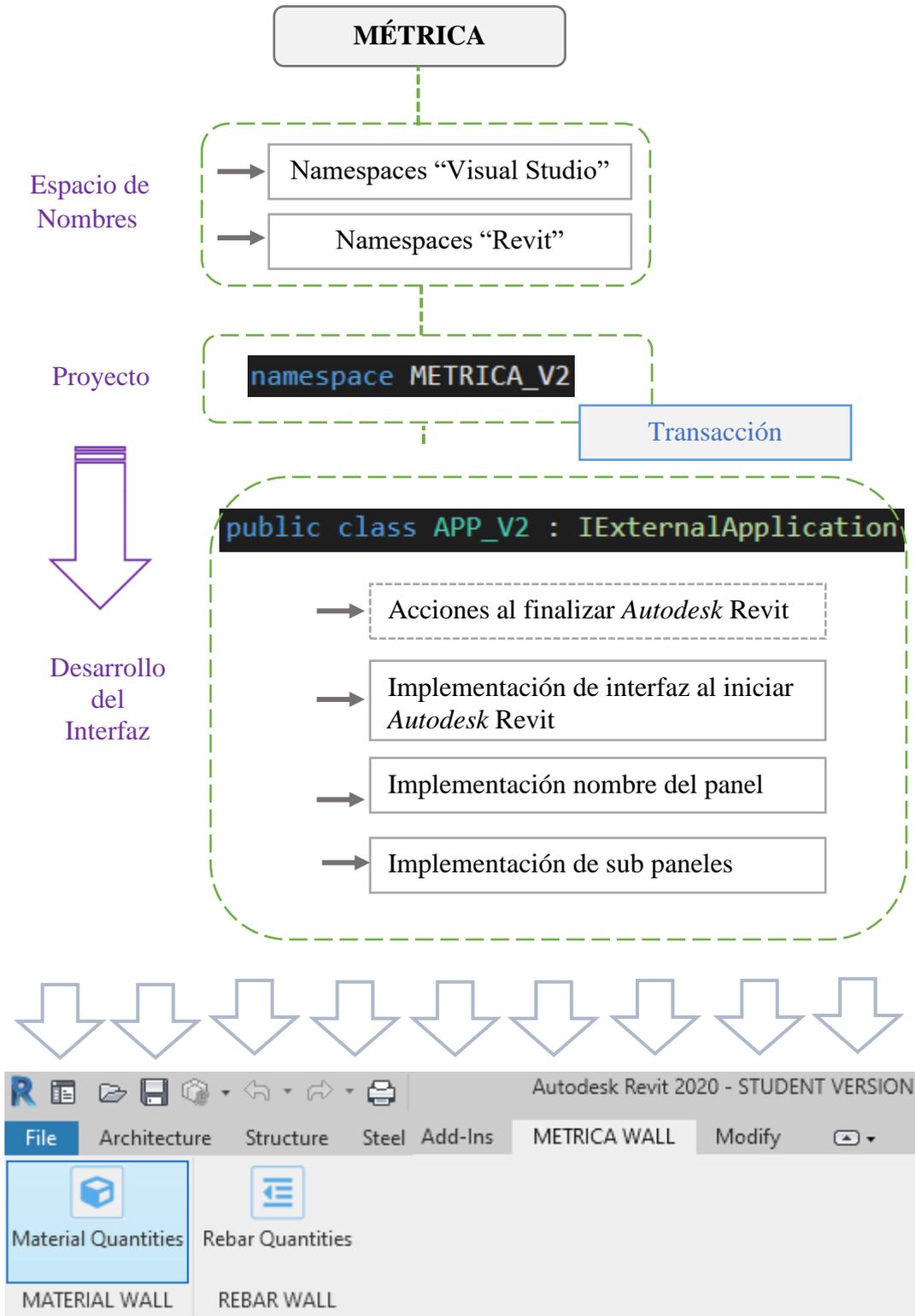
Resumen de desarrollo de APP métrica



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

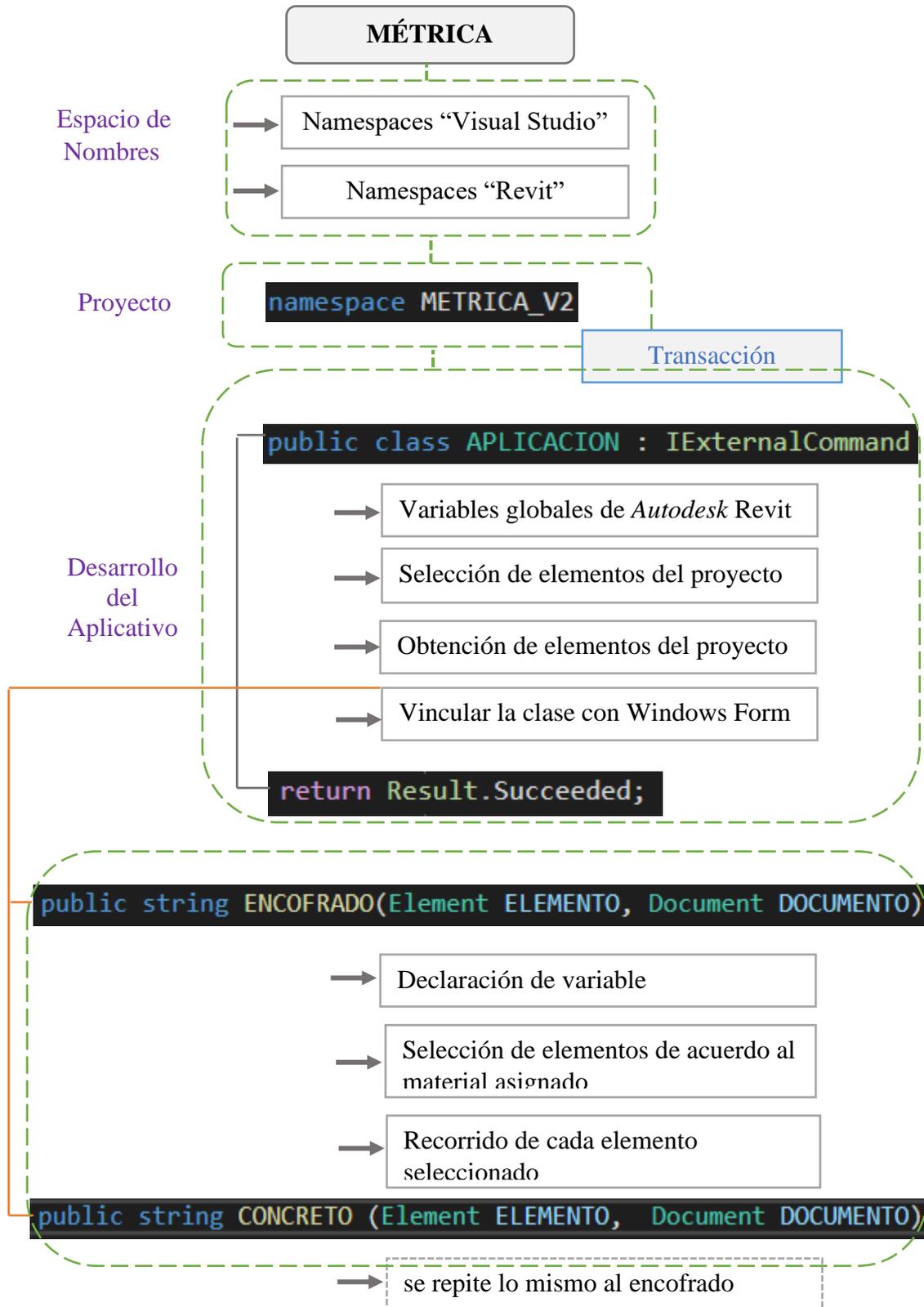
Figura 24:

Desarrollo de implementación de interfaz para métrica



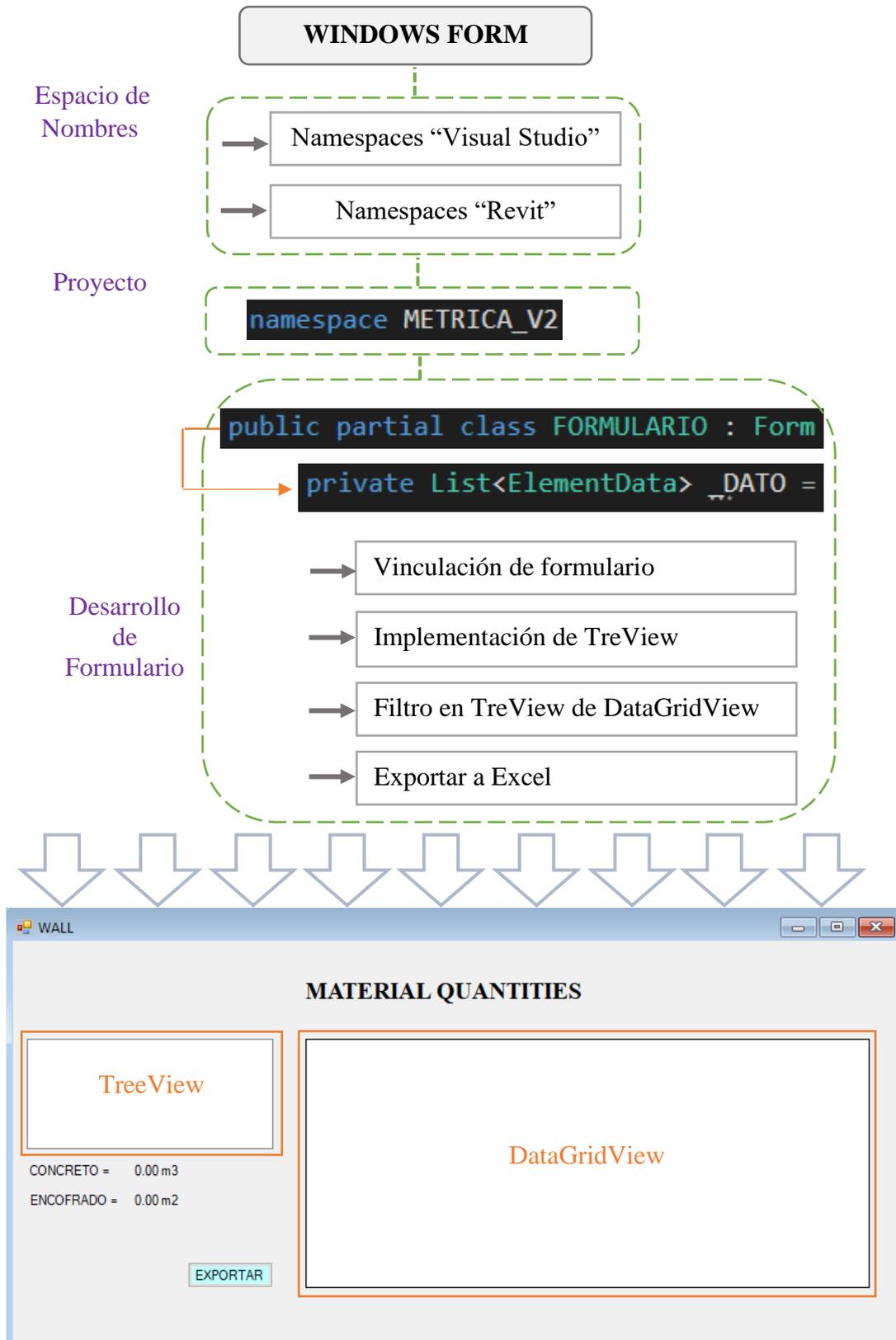
Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 25:
Desarrollo de programación orientada a objetos para métrica



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

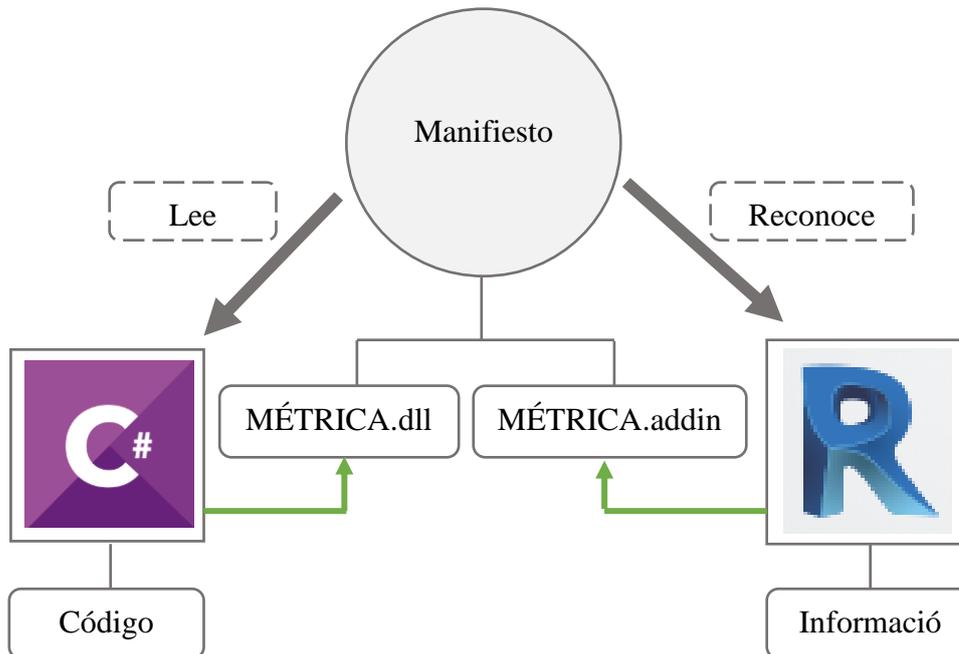
Figura 26:
Implementación de formulario "Windows Form"



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 27:

Manifiesto de lectura de código



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 14:

Cuantificación de materiales de APP métrica

The screenshot shows a software window titled 'WALL' with a tab 'Elementos' selected. The window displays 'MATERIAL QUANTITIES' and a table with the following data:

Id	Elemento	Categoría	Nombre	Area	Volumen
207059	Solado	Structural Fo...	Solado-T-2-1	0	2.39
207489	Solado	Structural Fo...	Solado-T-2-2	0	2.39
208283	Zapata	Structural Fo...	Zapata-T-2-1	9.9	9.57
208676	Zapata	Structural Fo...	Zapata-T-2-2	9.9	9.57
209779	Pantalla	Structural Fra...	Pantalla-T-2-1	58.12	6.39
210116	Pantalla	Structural Fra...	Pantalla-T-2-2	58.12	6.39

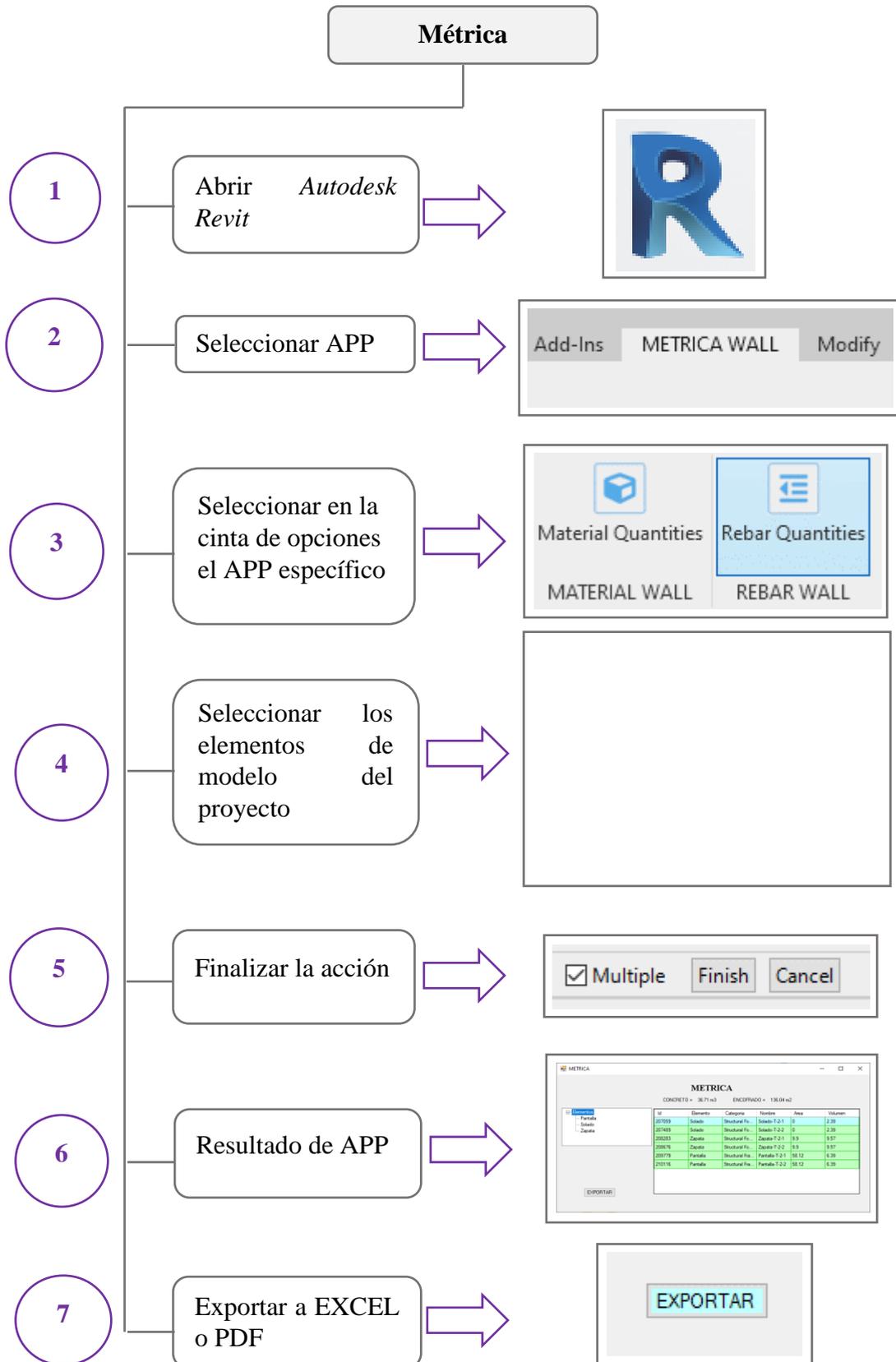
Below the table, the following material quantities are listed:

- CONCRETO = 36.71 m3
- ENCOFRADO = 136.04 m2

An 'EXPORTAR' button is visible at the bottom of the window.

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 28:
Guía de ejecución del aplicativo: métrica



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 29:

Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM

Autodesk Revit 2020 - STUDENT VERSION

File Architecture Structure Steel Add-Ins METRICA WALL Modify

Material Quantities Rebar Quantities

MATERIAL WALL REBAR WALL

3D) 3D.2 Acero Estructural X

1:20

WALL

MATERIAL QUANTITIES

Elementos

- ... Pantalla
- ... Solado
- ... Zapata

CONCRETO = 36.71 m3

ENCOFRADO = 136.04 m2

EXPORTAR

Id	Elemento	Categoría	Nombre	Area	Volumen
207059	Solado	Structural Fo...	Solado-T-2-1	0	2.39
207489	Solado	Structural Fo...	Solado-T-2-2	0	2.39
208283	Zapata	Structural Fo...	Zapata-T-2-1	9.9	9.57
208676	Zapata	Structural Fo...	Zapata-T-2-2	9.9	9.57
209779	Pantalla	Structural Fra...	Pantalla-T-2-1	58.12	6.39
210116	Pantalla	Structural Fra...	Pantalla-T-2-2	58.12	6.39

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



Los aplicativos desarrollados son válidos para la especialidad de estructuras de una edificación y la componente estructural de muros de contención, se ejecuta dentro del software de Revit en sus versiones de 2019 y 2020 en el idioma universal: inglés.

Vistas y planos

Al concluir los entregables finales del plan de ejecución BIM se realizó el montaje de visualización de los elementos modelados para lo cual se consideraron varios aspectos:

- Escala de la vista
- Rangos de vistas
- Visualización del modelo
- Visualización de piezas
- Nivel de detalle
- Modificación de visibilidad
- Líneas de croquis

Luego de haber realizado el montaje de vistas básico, procedemos a configurar la escala, el tamaño, formato de presentación, para lo cual se consideró los siguientes aspectos:

- Planos de planta
- Alzados
- Secciones
- Planos de detalle
- Rotulado de láminas



Tabla 15:

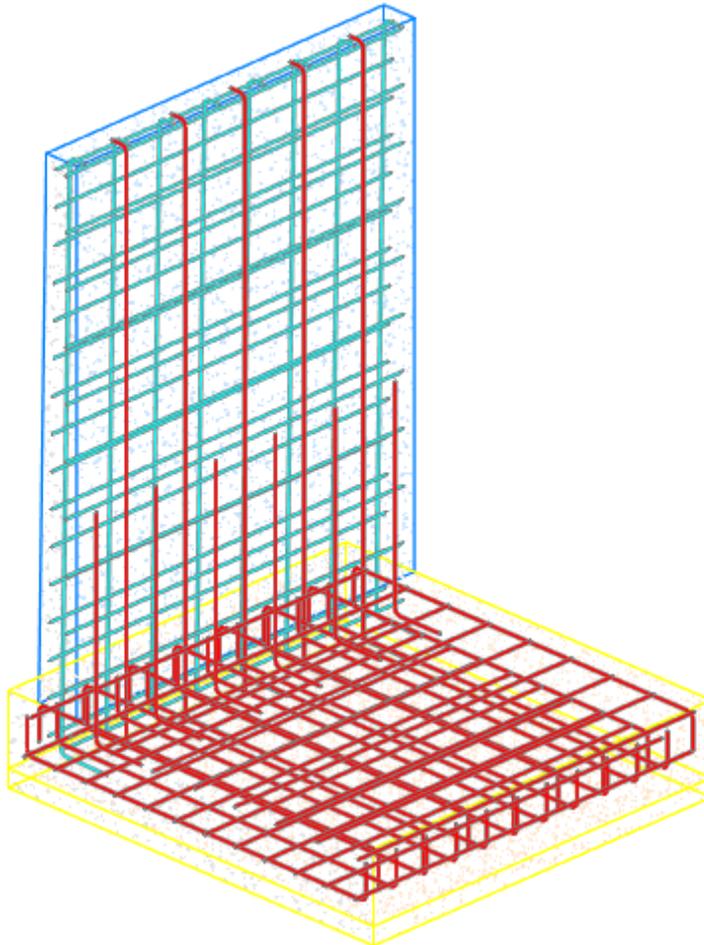
Esquema de montaje de vistas y planos

Vistas y planos		Actividades
Montaje de vistas	Revisión de vistas	Revisión de elementos ocultos Revisión de plantilla de vistas
	Anotación	Generar parámetros Generar etiquetas Insertar etiquetas Acotación
	Montaje de tablas	Generar tablas de planificación Formato de tablas Insertar tablas
	Montaje de leyendas	Generar leyendas Insertar leyendas
Montaje de planos	Revisión y control	Insertar vistas en planos Rótulo, escala, norte, símbolos Revisar título de vistas, textos, cotas Revisar planos por zonas, leyendas
	Planos generales	Planos de planta Planos de elevaciones Planos de secciones
	Planos específicos	Planos de detalle

Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 30:

Vista 3D de modelado de acero estructural



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

3.1.7. Segundo caso de estudio.

Mejoramiento del servicio académico de pregrado de la E.P. de Artes – FIAG de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, distrito, provincia y región Tacna-2020.

Inicialización del proyecto BIM.

a) *Plan de ejecución BIM.*

Tabla 16:

Hitos del plan de ejecución BIM

N.º	Hito	Entregable	Fecha Inicio	Fecha Entrega
1	Inicio del Proyecto		23/12/2020	2/01/2021
1.1	Plan de Ejecución BIM		23/12/2020	28/12/2020
1.2	Estándares del proyecto		29/12/2020	29/12/2020
1.3	Estructura de datos		29/12/2020	29/12/2020
1.4	Configuración de datos del modelo		29/12/2020	29/12/2020
1.5	Configuración de estructura del modelo		30/12/2020	30/12/2020
1.6	Estrategias de objetos BIM		30/12/2020	30/12/2020
1.7	Configuración de grafismo		31/12/2020	2/01/2021
2	Modelado de Estructuras		3/01/2021	27/01/2021
2.1	Aspectos generales		3/01/2021	3/01/2021
2.2	Elementos de referencia		3/01/2021	3/01/2021
2.3	Elementos de cimentación		4/01/2021	8/01/2021
2.4	Elementos de columnas y placas		9/01/2021	13/01/2021
2.5	Elementos de vigas horizontales		14/01/2021	18/01/2021
2.6	Elementos de losas		18/01/2021	22/01/2021
2.7	Elementos de escaleras y rampas		22/01/2021	26/01/2021
3	Gestión de Información		27/01/2021	14/02/2021
3.1	Metrado tradicional de estructuras		27/01/2021	29/01/2021
3.2	Automatización de metrados de estructuras		29/01/2021	14/02/2021
4	Vistas y Planos		15/02/2021	20/02/2021
4.1	Montaje de vistas		15/02/2021	17/02/2021
4.2	Montaje de planos		18/02/2021	20/02/2021
5	Cierre del Proyecto		21/02/2021	27/02/2021
5.1	Automatización de gestión de información		21/02/2021	27/02/2021

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

b) *Estándares del proyecto.*

El único estándar de calidad para auditar proyectos BIM es la ISO 19650 y la Resolución Ministerial N° 242-2019-Vivienda:

- ISO 19650, *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) —Information management using building information modelling —*



- RM N° 242-2019-Vivienda, lineamientos generales para el uso del BIM en proyectos de construcción.

El cumplimiento de los estándares BIM no es obligatorio, excepto el DS N° 289-2019-EF, que establece la incorporación progresiva de herramientas obligatorias de modelamiento digital.

c) *Estructura de datos.*

Tabla 17:

Estructura de carpetas del proyecto

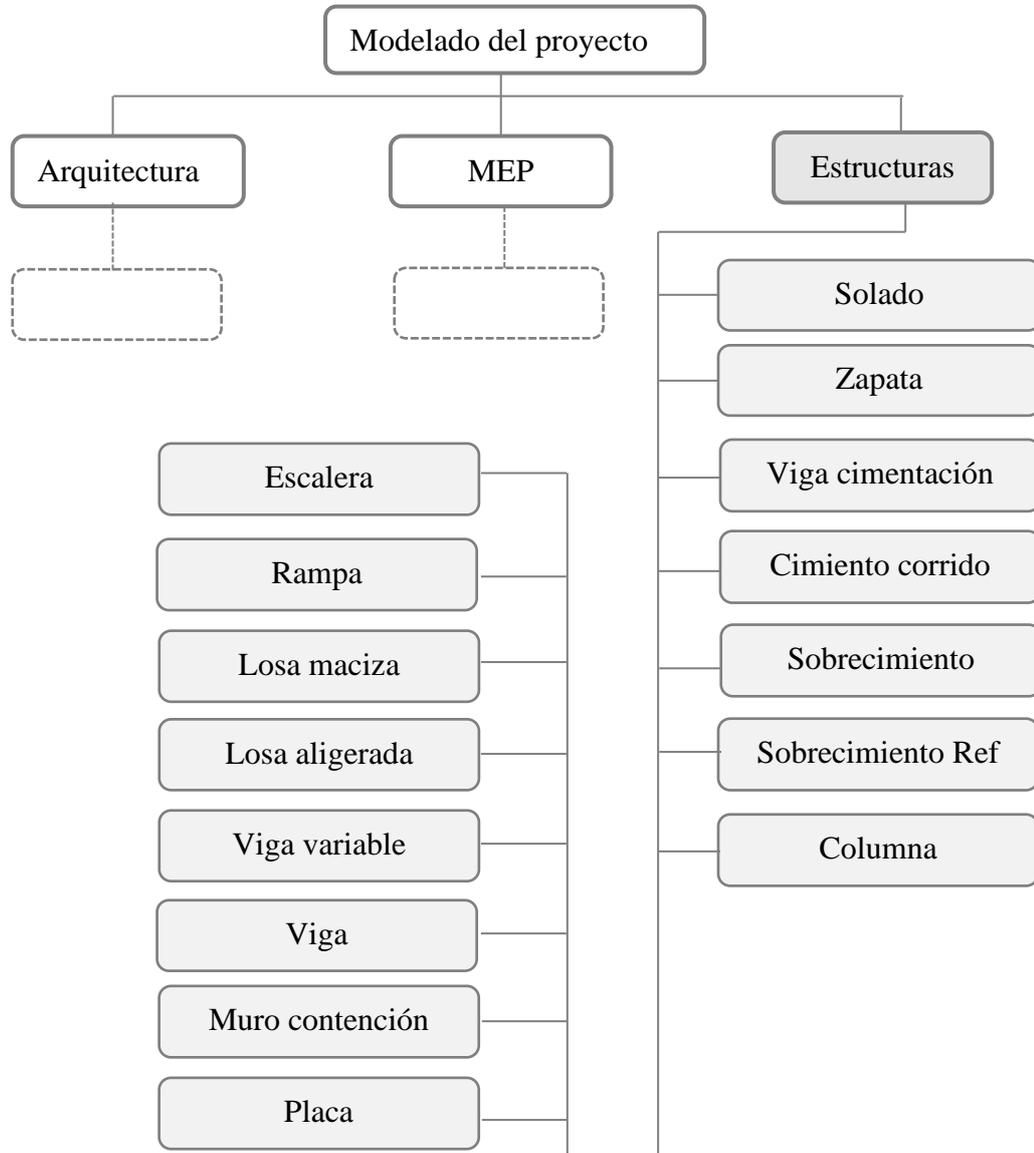
Estructura de carpetas del proyecto	
Carpetas	Descripción
1. Comunicaciones	
1.3. Envíos	Registro de comunicaciones con los participantes del proyecto
1.4. Recibidos	Registro de comunicaciones con los participantes del proyecto
2. Gestión y recursos	
2.1. Antecedentes	Documentación previa al proyecto
2.2. Informe técnico proyecto	Documentación técnica del proyecto
2.3. BIM	Inicio de modelado del proyecto
2.3.1. Familias	Modelado 3D
2.3.2. Grilla y Plano de referencia	Modelado 3D
2.3.3. Materiales	Modelado 3D
2.3.4. Modelo 3D	Modelado 3D
2.3.5. Parámetros	Modelado 3D
2.4. Automatización	Automatización de procesos
2.4.1. Desarrollo de Métrica	Aplicativo

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

d) *Configuración de modelado.*

Figura 31:

Configuración de modelado del proyecto



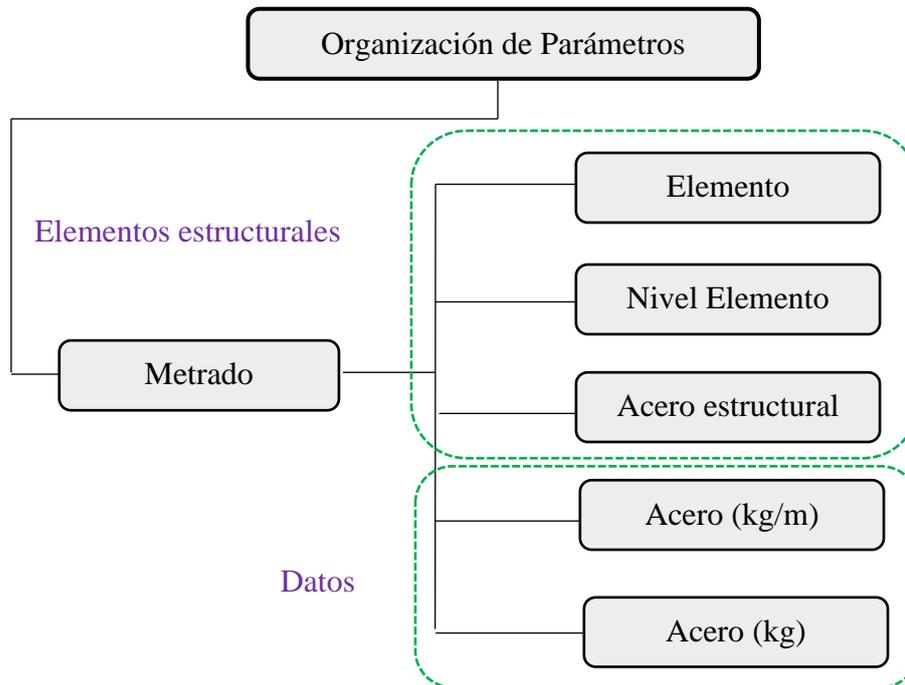
Nota: Adaptado de ISO 19650-1 (2018)

e) *Configuración de estructura de modelado.*

La información contenida en el modelado del proyecto se controló de acuerdo a los parámetros asignados a cada elemento.

Figura 32:

Organización de parámetros del proyecto



Nota: elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 18:

Parámetros compartidos, elemento

Parámetros compartidos				
Descripción: parámetro	Grupo parámetro	Disciplina	Tipo parámetro	Nombre: parámetro
Elementos estructurales				
Solado	Metrado	Común	Texto	Elemento
Viga cimentación	Metrado	Común	Texto	Elemento
Cimiento corrido	Metrado	Común	Texto	Elemento
Sobrecimiento	Metrado	Común	Texto	Elemento
Sobrecimiento reforzado	Metrado	Común	Texto	Elemento
Zapata	Metrado	Común	Texto	Elemento
Columna	Metrado	Común	Texto	Elemento
Placa	Metrado	Común	Texto	Elemento
Muro contención	Metrado	Común	Texto	Elemento
Viga	Metrado	Común	Texto	Elemento
Viga variable	Metrado	Común	Texto	Elemento
Losa aligerada	Metrado	Común	Texto	Elemento
Losa maciza	Metrado	Común	Texto	Elemento
Rampa	Metrado	Común	Texto	Elemento
Escalera	Metrado	Común	Texto	Elemento

Nota: elaborado por el equipo de trabajo



Tabla 19:

Parámetros compartidos, nivel elemento

Parámetros compartidos				
Descripción: parámetro	Grupo parámetro	Disciplina	Tipo parámetro	Nombre: parámetro
Elementos estructurales				
Solado	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Viga cimentación	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Cimiento corrido	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Sobrecimiento	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Sobrecimiento reforzado	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Zapata	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Columna	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Placa	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Muro contención	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Viga	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Viga variable	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Losa aligerada	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Losa maciza	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Rampa	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento
Escalera	Metrado	Común	Texto	Nivel elemento

Nota: elaborado por el equipo de trabajo



Tabla 20:

Parámetros del proyecto

Descripción	Parámetro	Parámetro proyecto					
		Grupo Parámetro	Tipo Parámetro	Nivel Información			
				D1	D2	D3	D4
Elementos Estructurales							
Solado	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Viga cimentación	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Cimiento corrido	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Sobrecimiento	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Sobrecimiento reforzado	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Zapata	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Columna	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Placa	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Muro Contención	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Viga	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Viga variable	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Losa aligerada	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Losa maciza	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Rampa	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		
Escalera	Compartido	Construcción	Ejemplar	x	x		

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Tabla 21:

Nivel de gestión de información de elementos de modelado, fase 1

Elementos de modelo	Ciclo de vida de proyecto		
	Fase 1		
	Gestión de información		
Descripción	Gráfico	Datos	Desarrollo
Elementos Estructurales			
Solado	G1	D1	No tiene
Viga cimentacion	G1	D1	No tiene
Cimiento corrido	G1	D1	No tiene
Sobrecimiento	G1	D1	No tiene
Sobrecimiento reforzado	G1	D1	No tiene
Zapata	G1	D1	No tiene
Columna	G1	D1	No tiene
Placa	G1	D1	No tiene
Muro contención	G1	D1	No tiene
Viga	G1	D1	No tiene
Viga variable	G1	D1	No tiene
Losa aligerada	G1	D1	No tiene
Losa maciza	G1	D1	No tiene
Rampa	G1	D1	No tiene
Escalera	G1	D1	No tiene
Gestión de Información			
Automatización de metrados para estructuras	No tiene	No tiene	No tiene
Vistas y Planos			
Montaje de vistas	G1	No tiene	No tiene
Montaje de planos	G1	No tiene	No tiene

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Tabla 22:

Nivel de gestión de información de elementos de modelado, fase 2

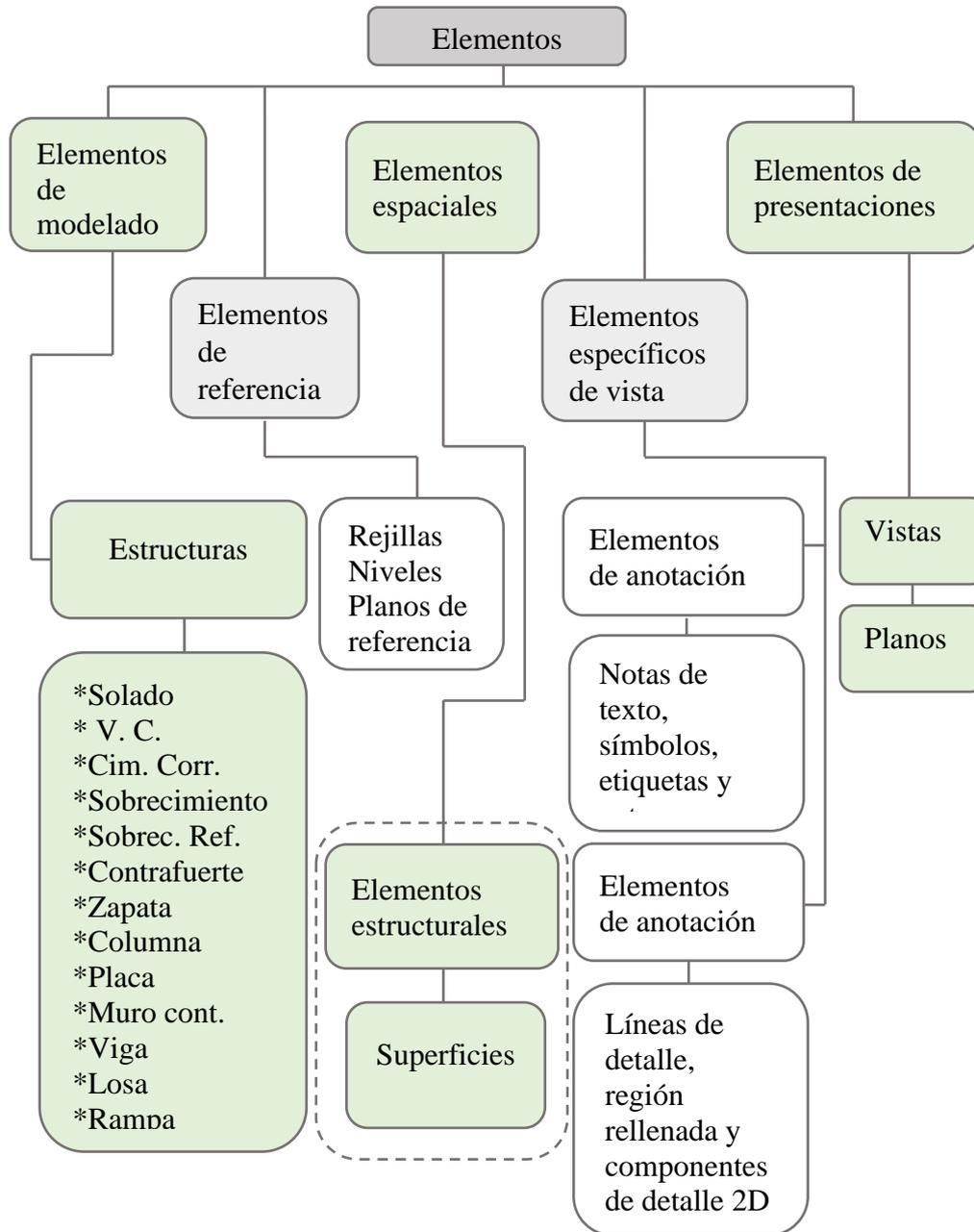
Elementos de modelo	Ciclo de vida de proyecto		
	FASE 2		
	Gestión de información		
Descripción	Gráfico	Datos	Desarrollo
Elementos Estructurales			
Solado	G3	D2	LOD 350
Viga cimentacion	G3	D2	LOD 350
Cimiento corrido	G3	D2	LOD 350
Sobrecimiento	G3	D2	LOD 350
Sobrecimiento reforzado	G3	D2	LOD 350
Zapata	G3	D2	LOD 350
Columna	G3	D2	LOD 350
Placa	G3	D2	LOD 350
Muro Contención	G3	D2	LOD 350
Viga	G3	D2	LOD 350
Viga Variable	G3	D2	LOD 350
Losa Aligerada	G3	D2	LOD 350
Losa Maciza	G3	D2	LOD 350
Rampa	G3	D2	LOD 350
Escalera	G3	D2	LOD 350
Gestión de Información			
Automatización de metrados para estructuras	Cuantificación de metrados automatizado		
Vistas y planos			
Montaje de vistas	G3	No tiene	LOD 350
Montaje de planos	G3	No tiene	LOD 350

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

f) Estrategias de objetos BIM.

Figura 33:

Esquema de modelado de objetos BIM de estructuras de contención



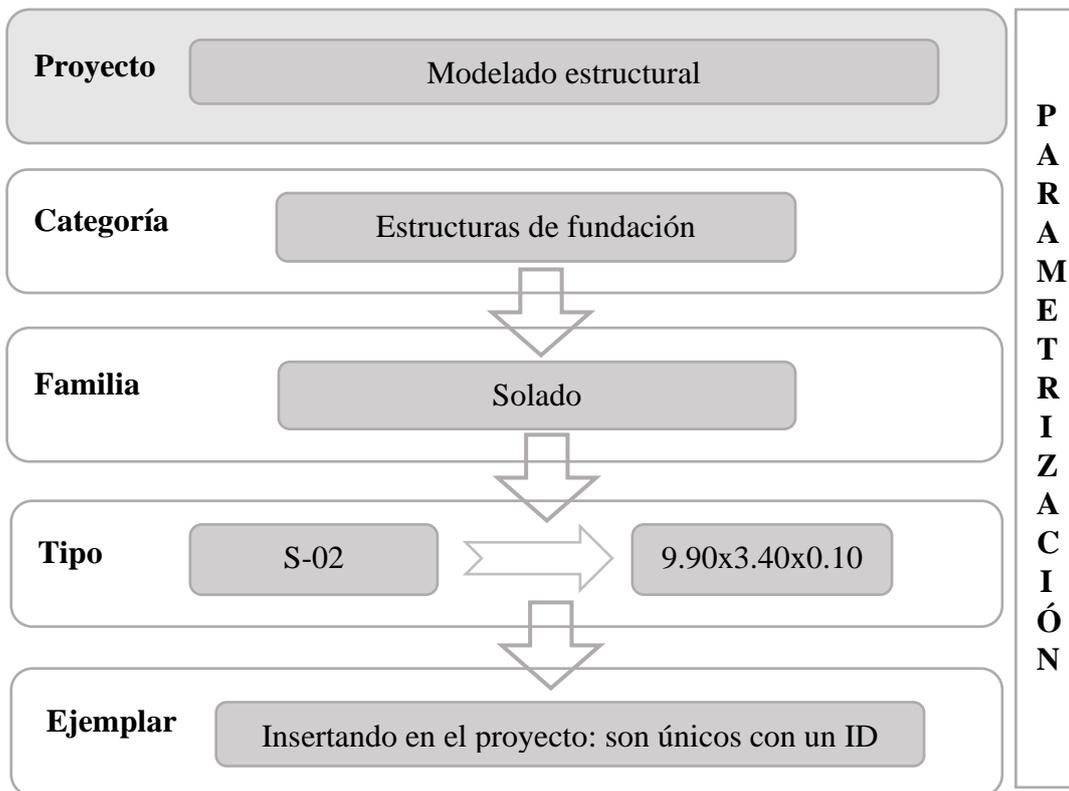
Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

g) *Configuración de grafismo.*

La configuración de la jerarquía de los elementos ayuda a controlar el grafismo del proyecto.

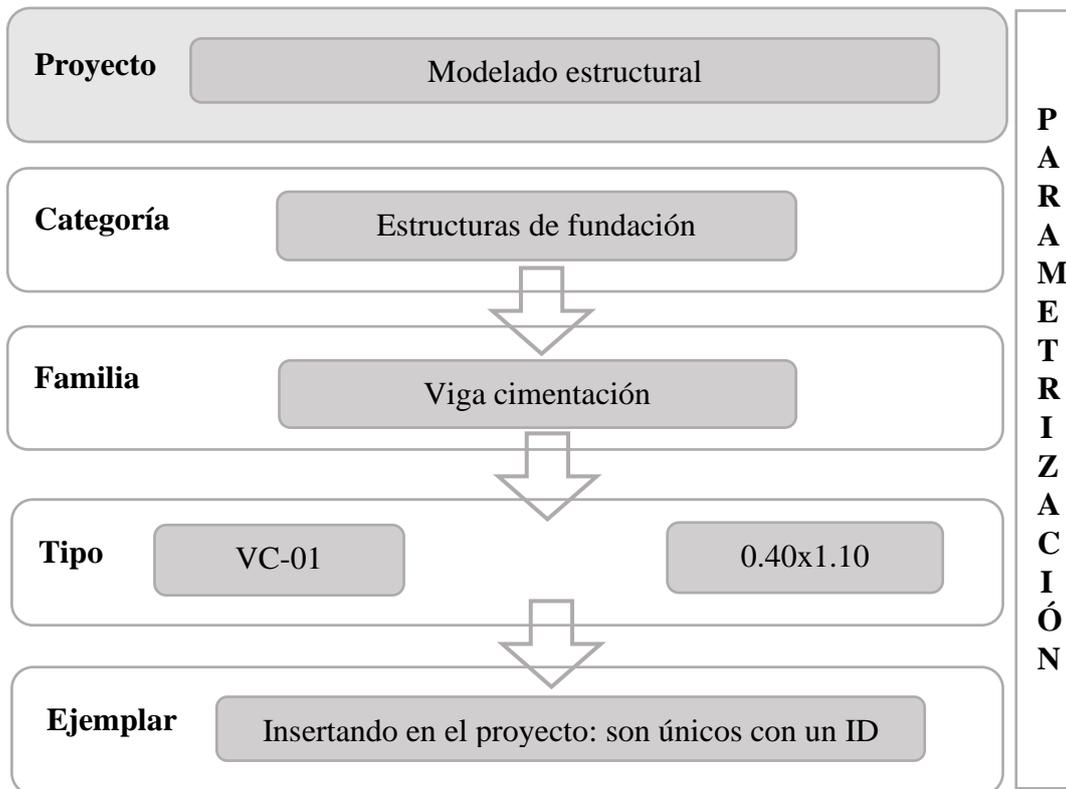
Figura 34:

Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, solado



Nota: Adaptado de Barco (2018)

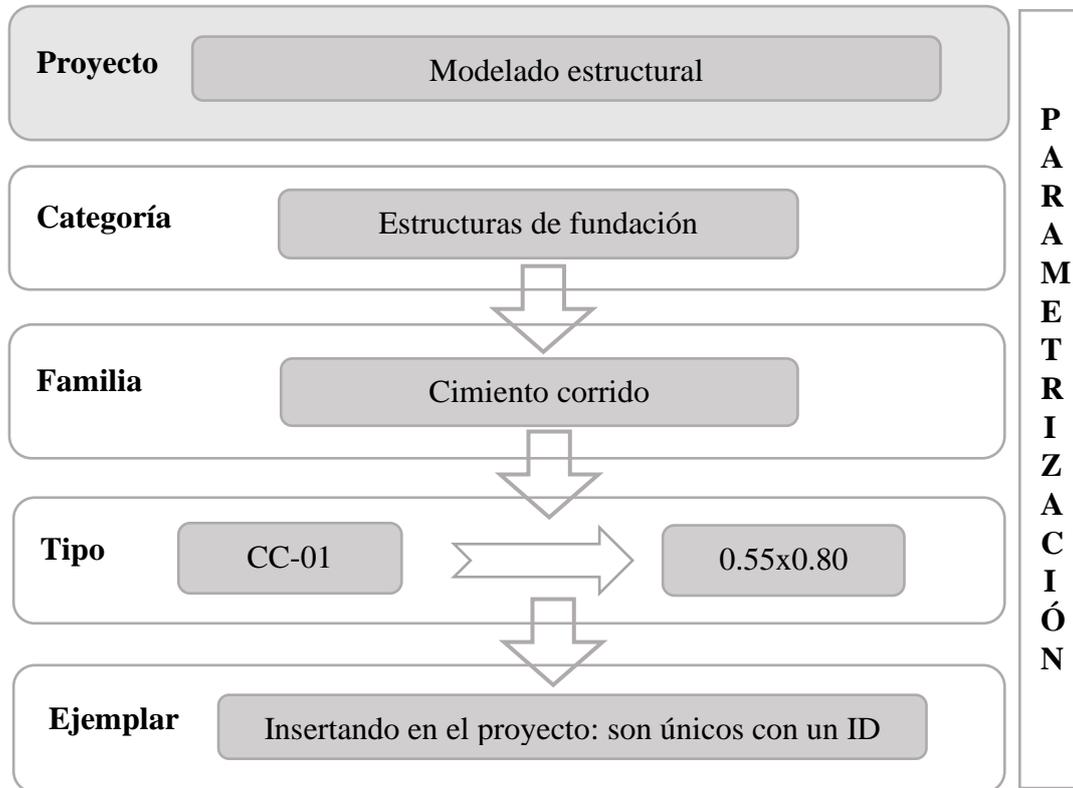
Figura 35:
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, viga de cimentación



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 36:

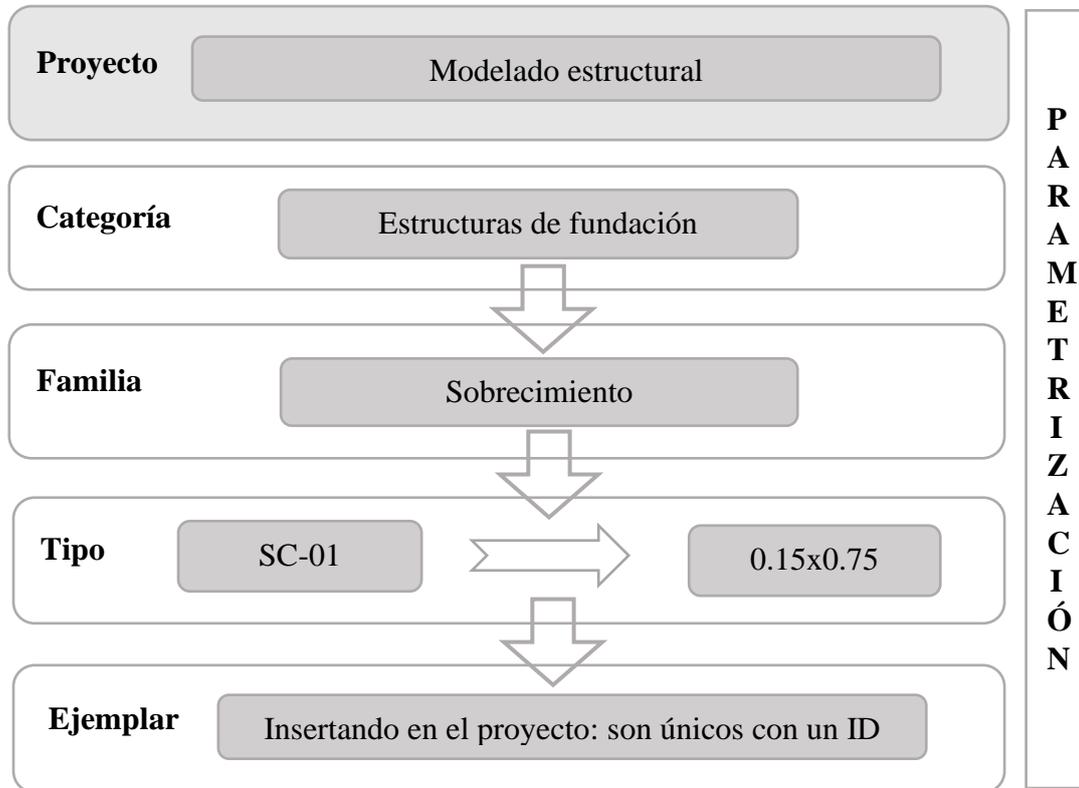
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, cimiento corrido



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 37:

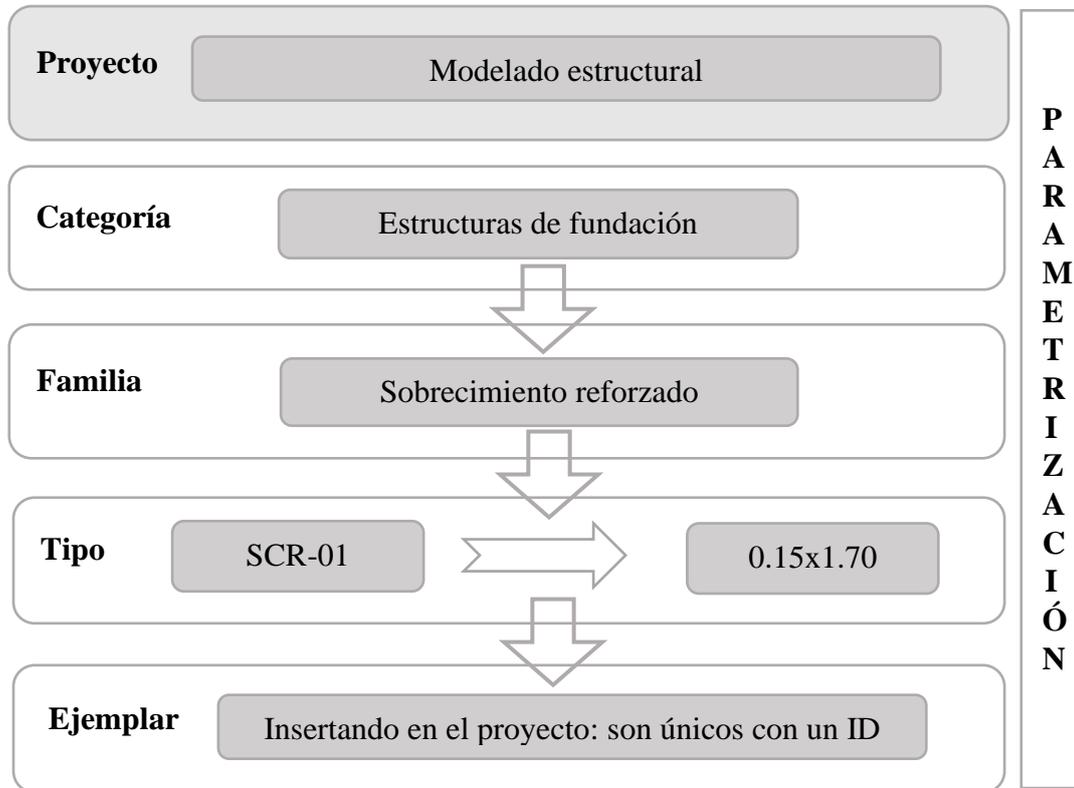
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, sobrecimiento



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 38:

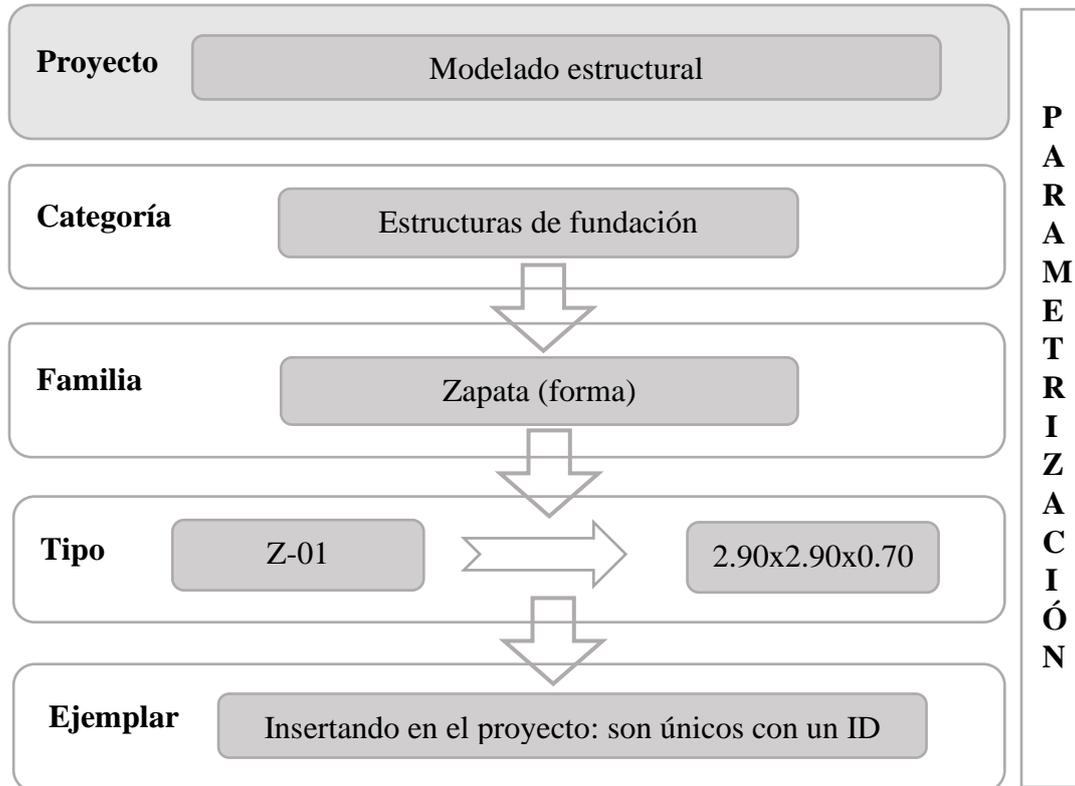
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, sobrecimiento reforzado



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 39:

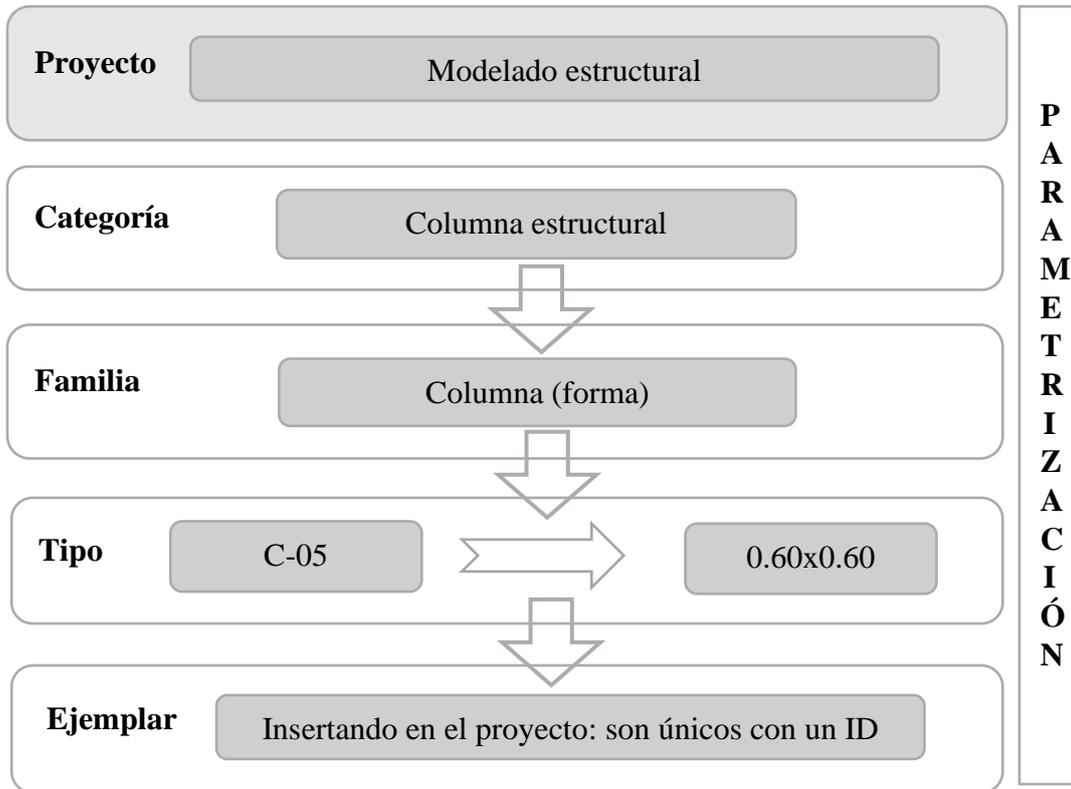
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, Zapata



Nota: Adaptado de Barco (2018)

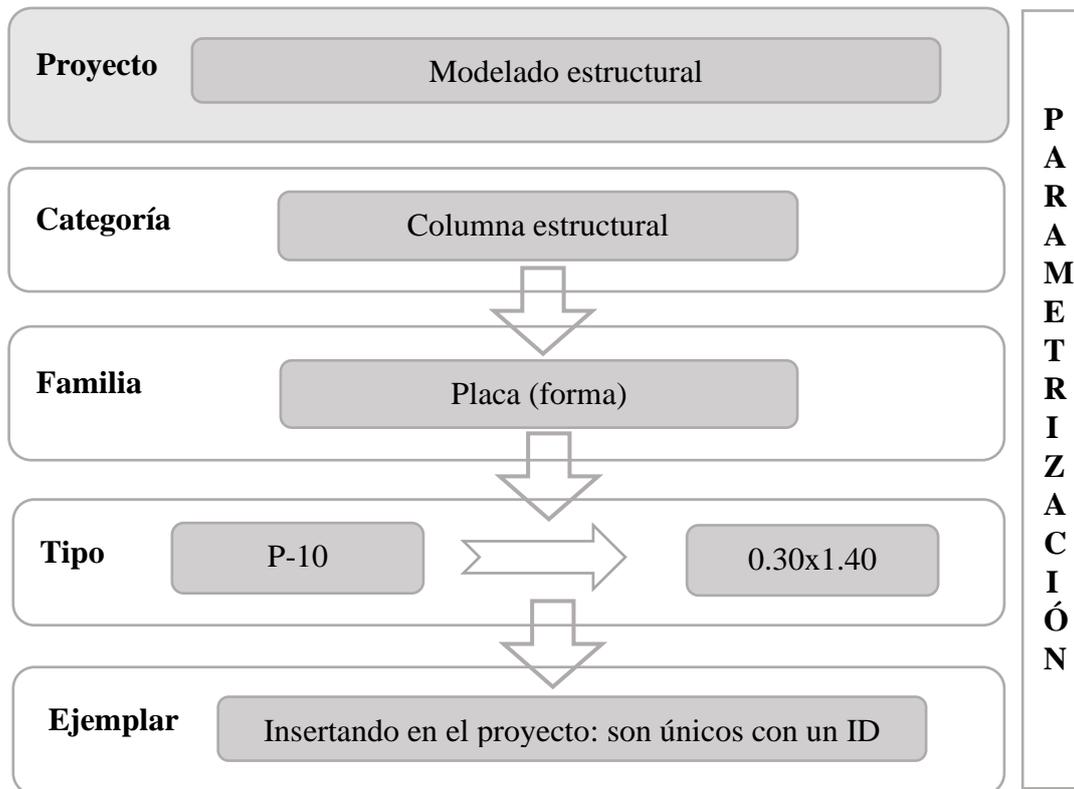
Figura 40:

Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, columna



Nota: Adaptado de Barco (2018)

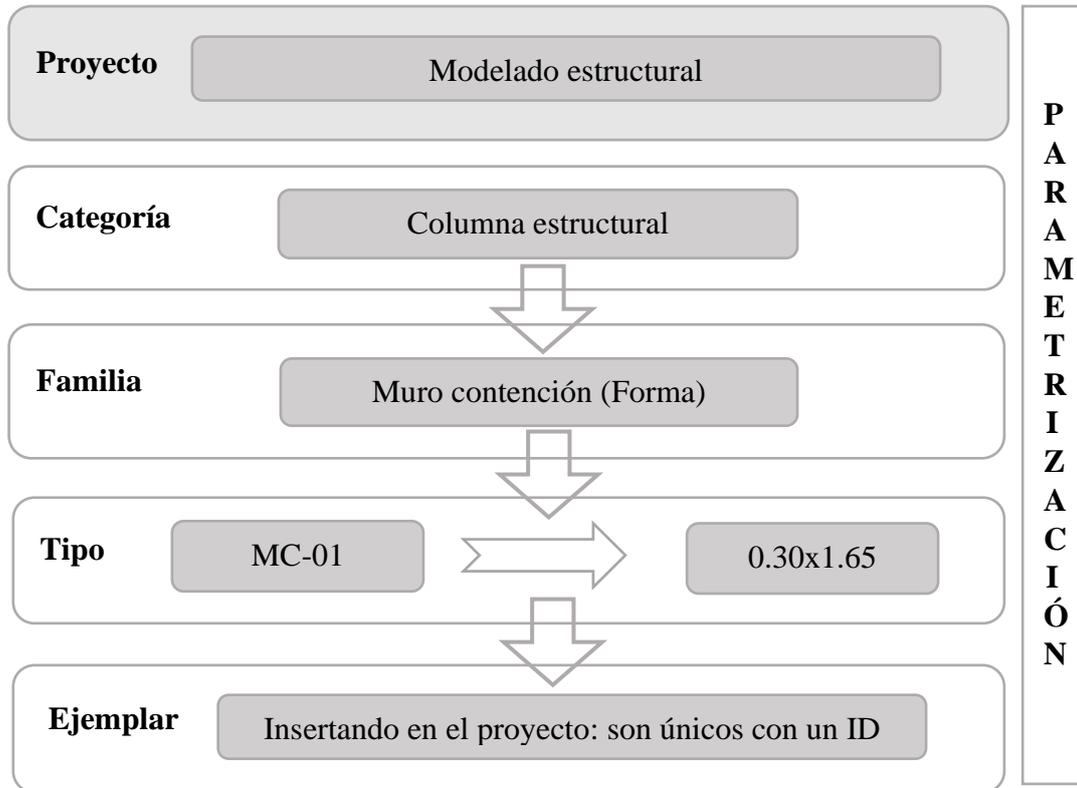
Figura 41:
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, placa



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 42:

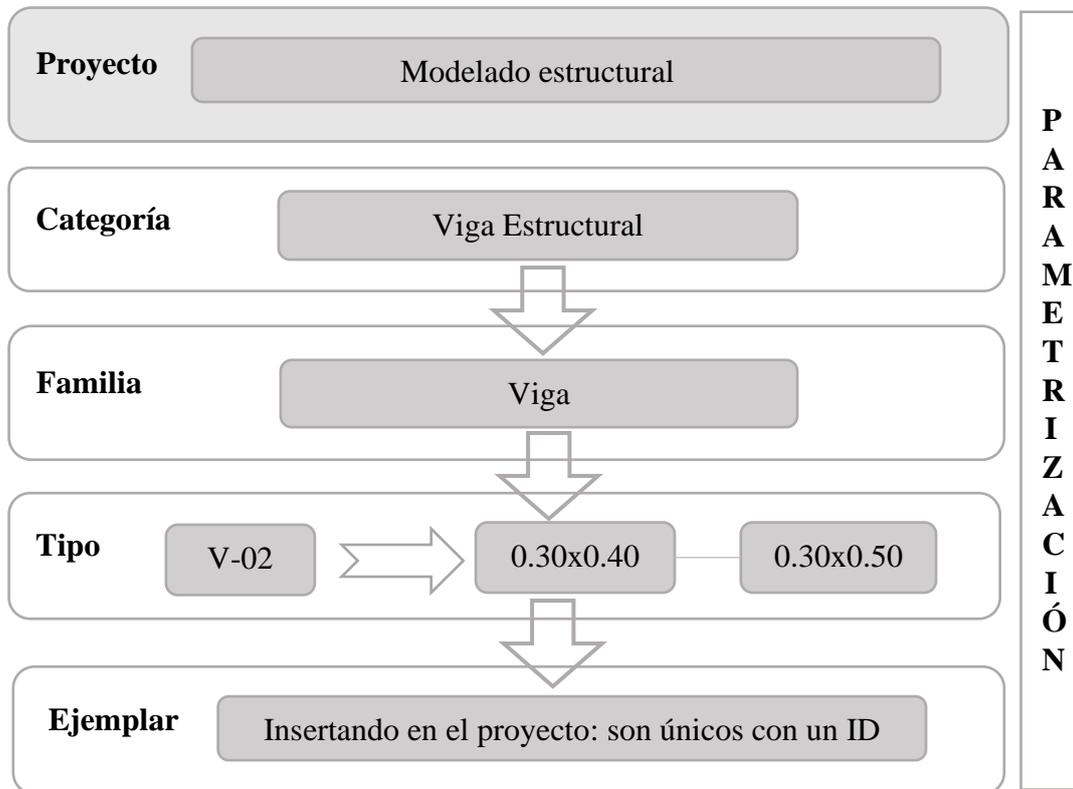
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, muro de contención



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 43:

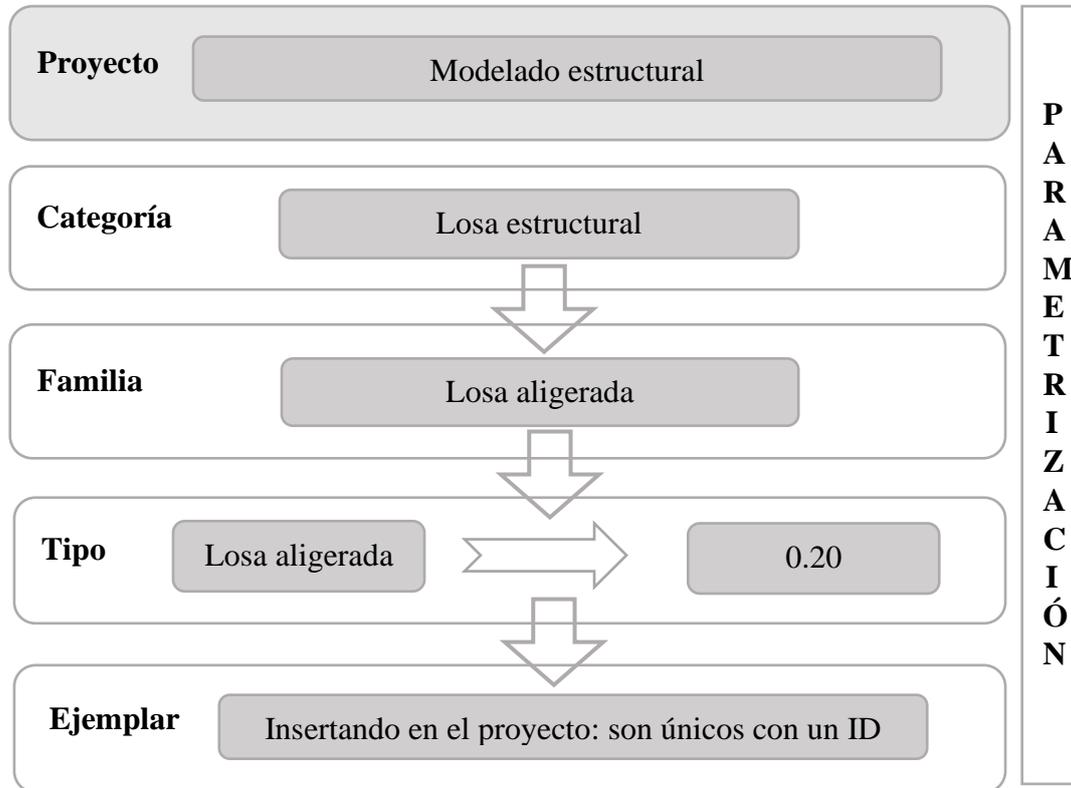
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, viga



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 44:

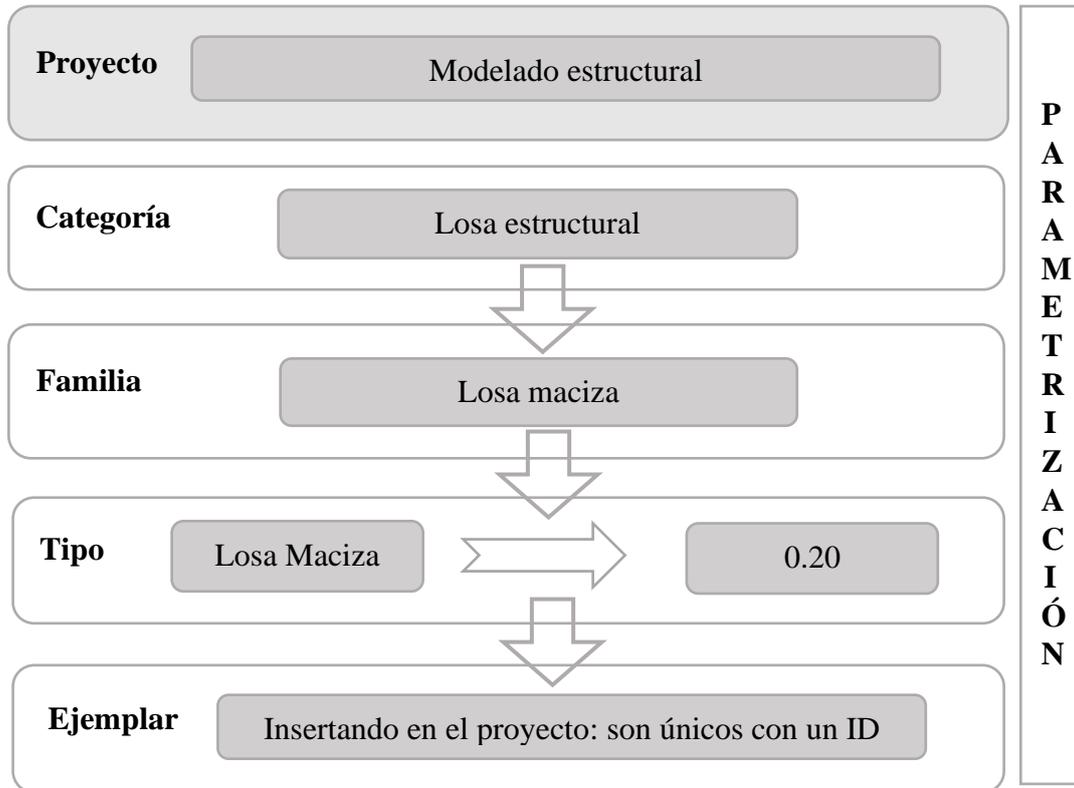
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, losa aligerada



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 45:

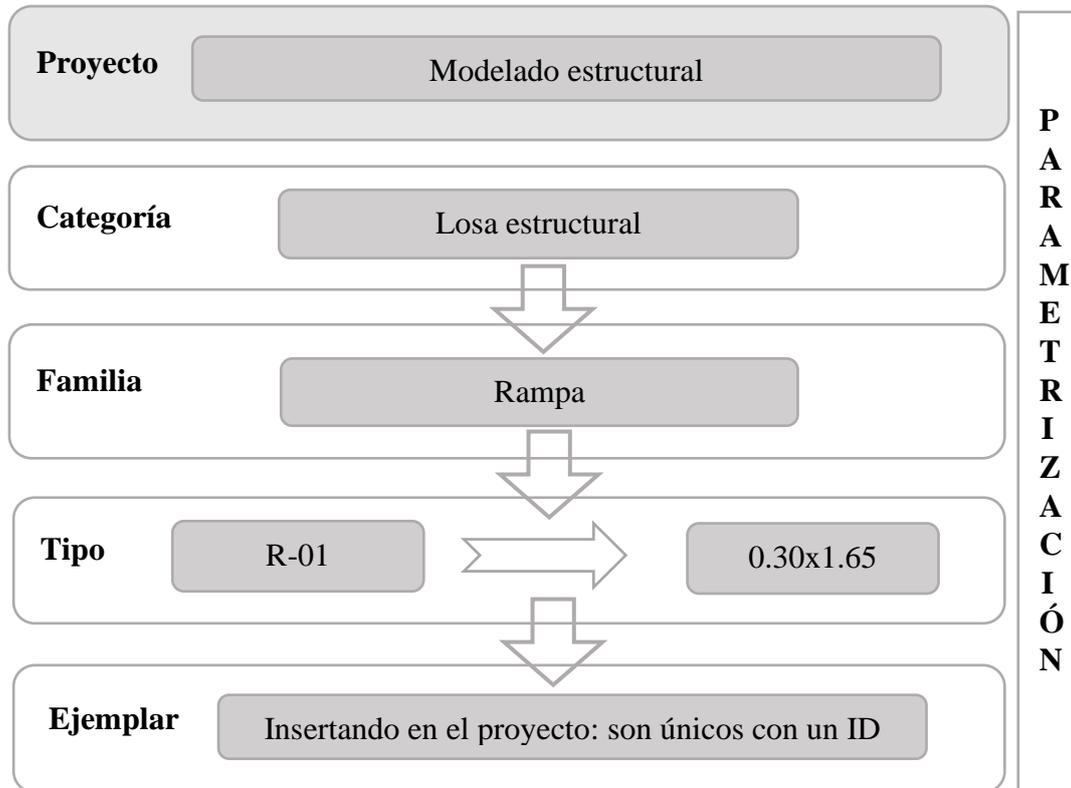
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, losa maciza



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 46:

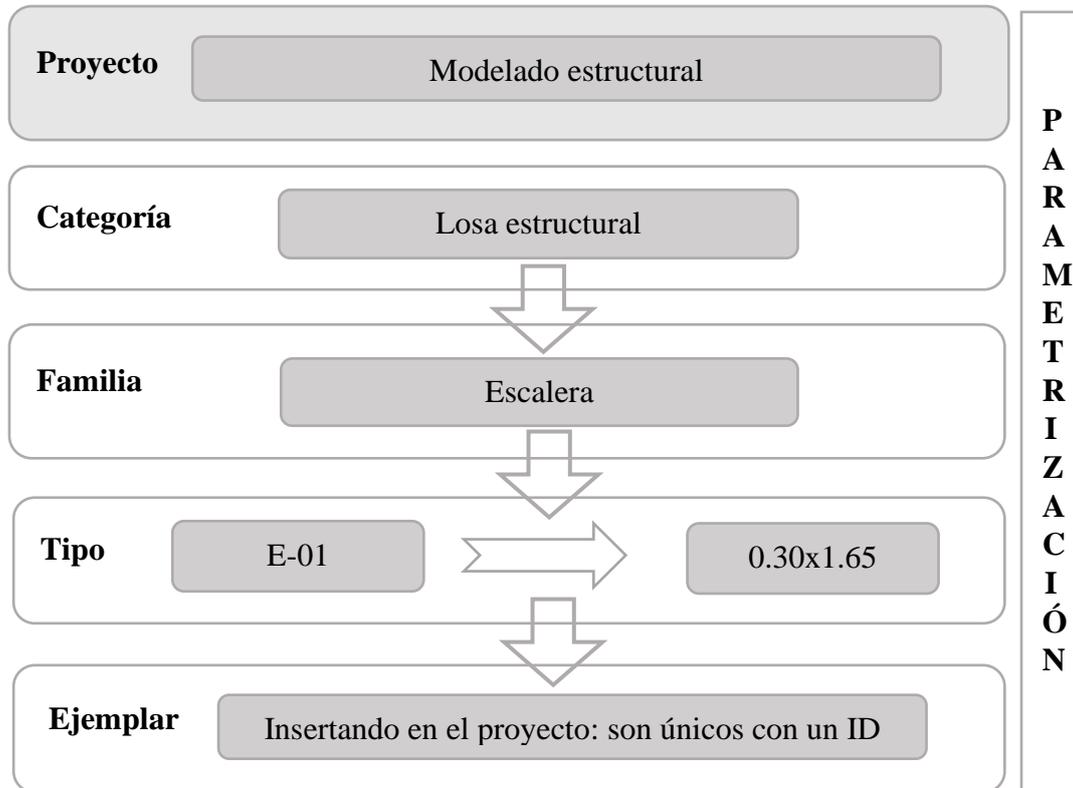
Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, rampa



Nota: Adaptado de Barco (2018)

Figura 47:

Configuración de grafismo para nomenclatura de familias, escalera



Nota: Adaptado de Barco (2018)

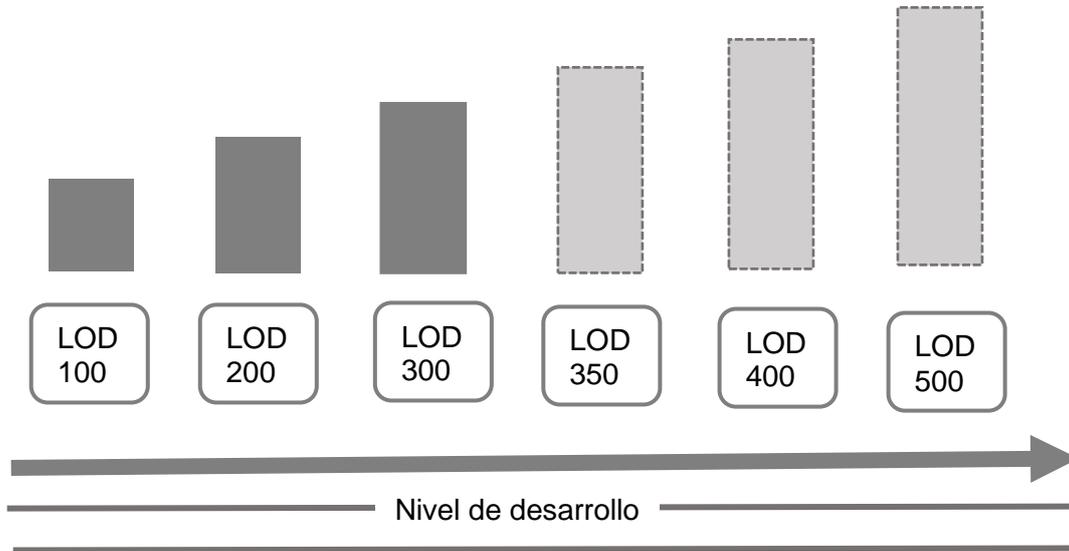
Desarrollo de modelado de estructuras.

h) Aspectos generales.

Según el estándar británico que es la transición de la ISO 19650 se define el nivel BIM de la gestión de información del modelado, para nuestro proyecto se está considerando el nivel 1 “*Level 1*”, esto quiere decir, un modelado independiente por especialidad.

Figura 48:

Nivel de desarrollo del proyecto



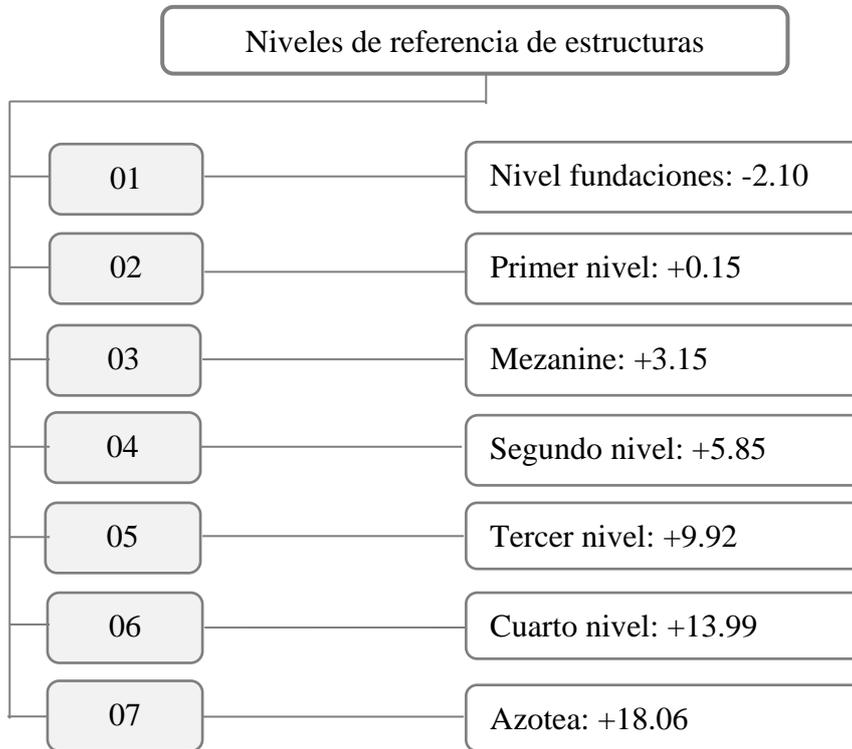
Nota: Adaptado de MVCS (2018)

i) Elementos de referencia.

La creación de niveles y rejillas es base para iniciar con el modelado de muros de contención. Los niveles definen las alturas verticales y las alturas de piso, en cambio, las rejillas son para referenciar la ubicación de elementos estructurales.

Figura 49:

Niveles de referencia de estructuras



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

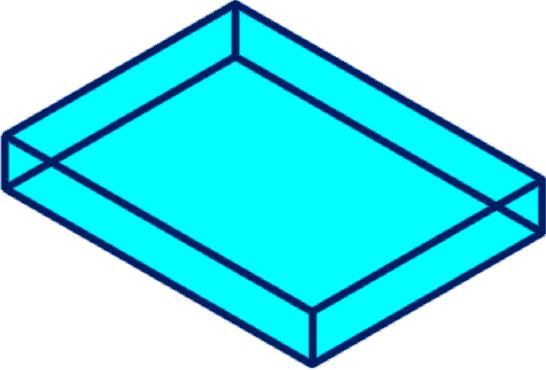
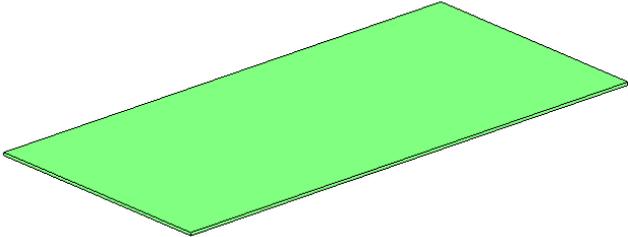
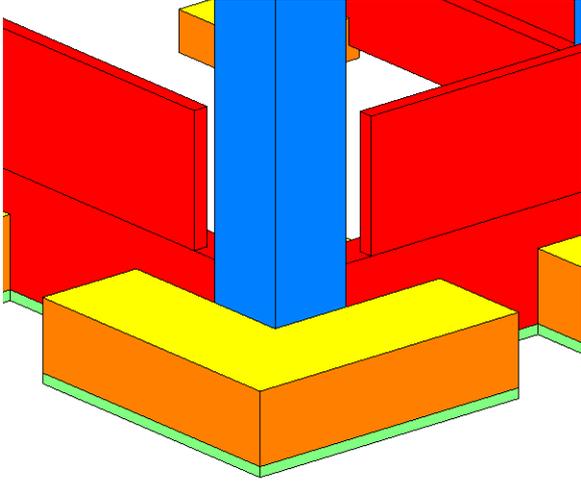
j) *Cimentación.*

Los elementos estructurales de concreto armado que pertenecen a esta categoría de “Estructuras de Fundación” es:

- Solado
- Zapata aislada
- Viga cimentación
- Cimiento corrido
- Sobrecimiento
- Sobrecimiento reforzado

Tabla 23:

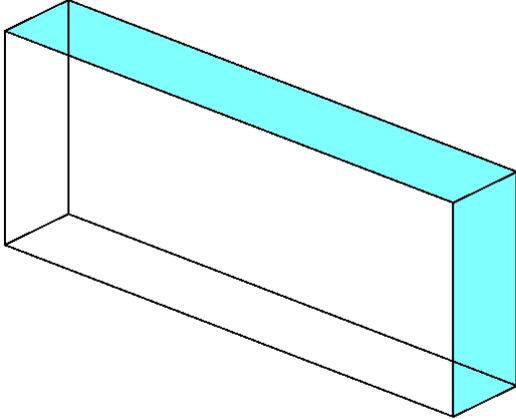
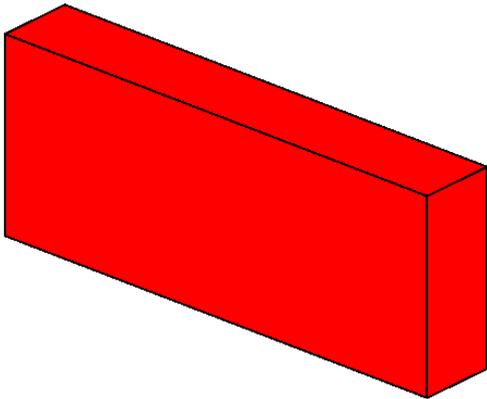
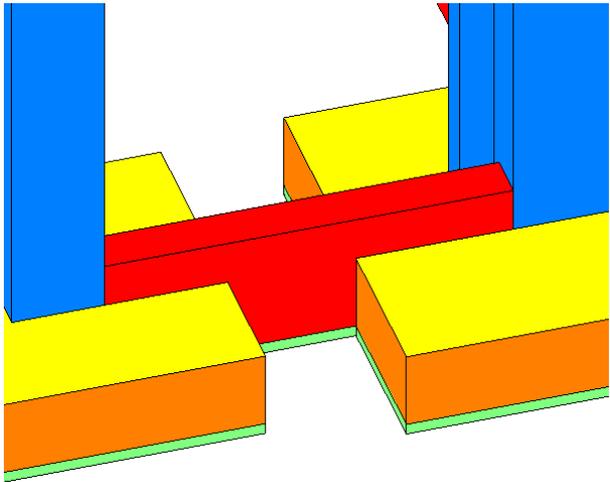
Nivel de detalle gráfico, solado

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: Structural Foundations	Familia: Solado	Tipo: S-1
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de solado	G1	
Sección definida de solado	G2	
Representación de solado	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Tabla 24:

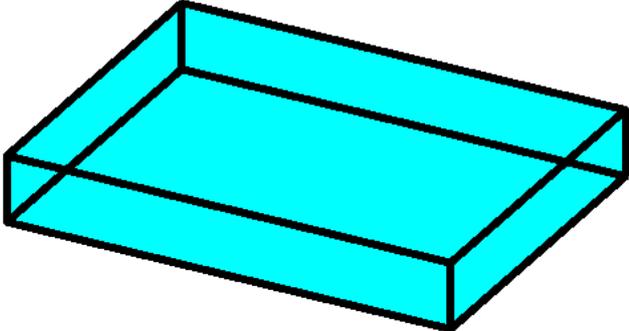
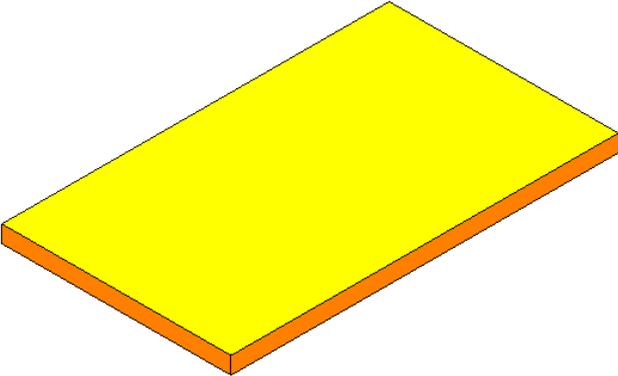
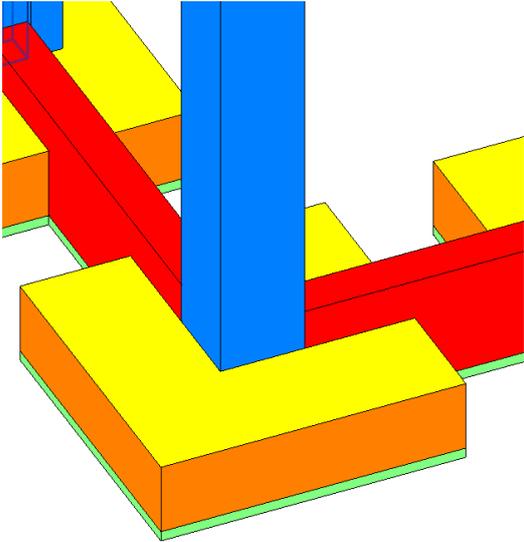
Nivel de detalle gráfico, viga de cimentación

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>structural framing</i>	Familia: viga cimentación	Tipo: vc-01
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de viga de cimentación	G1	
Sección definida de viga de cimentación	G2	
Representación de viga de cimentación	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Tabla 25:

Nivel de detalle gráfico, zapata

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>structural foundations</i>	Familia: zapata	Tipo: z-1
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de la zapata		
Sección definida de la zapata		
Representación de la zapata		

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

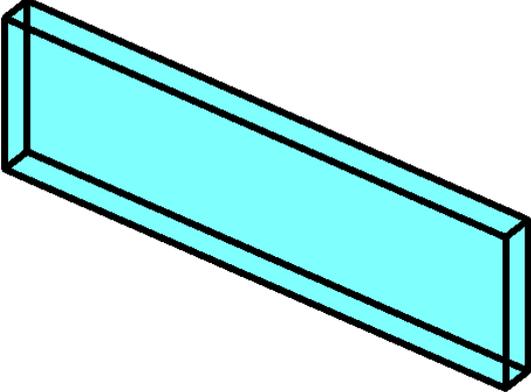
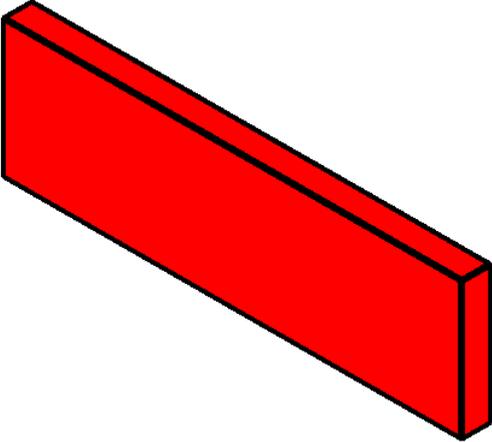
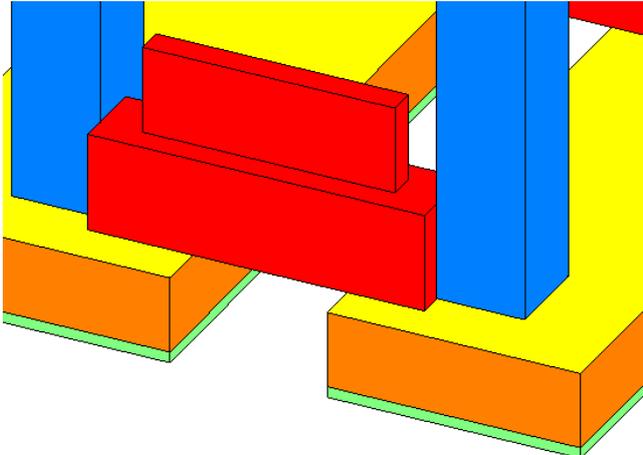
Tabla 26:

Nivel de detalle gráfico, cimiento corrido

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>structural framing:</i>	Familia: cimiento corrido	Tipo: cc 01
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de cimiento corrido	G1	
Sección definida de cimiento corrido	G2	
Representación de cimiento corrido	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

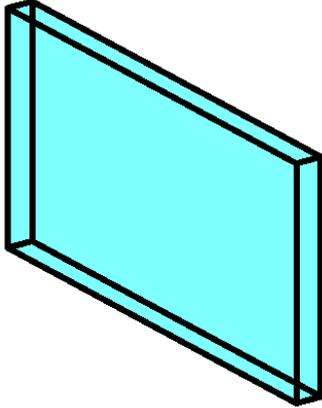
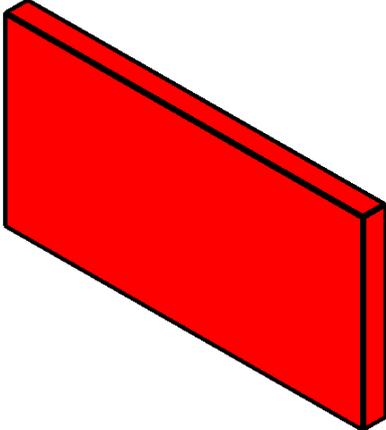
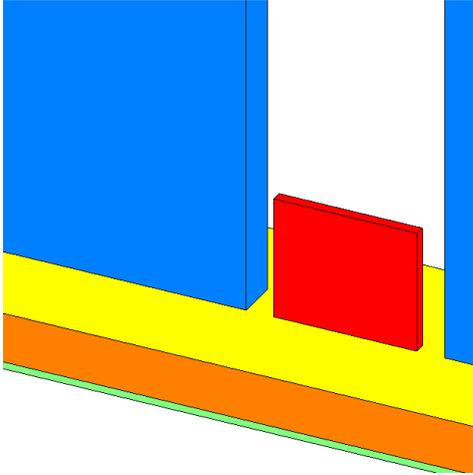
Tabla 27:
Nivel de detalle gráfico, sobrecimiento

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>structural framing</i>	Familia: sobrecimiento	Tipo: sc 01
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de sobrecimiento	G1	
Sección definida de sobrecimiento	G2	
representación de sobrecimiento	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Tabla 28:

Nivel de detalle gráfico, sobrecimiento reforzado

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>Structural Framing</i>	Familia: Sobrecimiento reforzado	Tipo: SCR 01
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de sobrecimiento reforzado	G1	
Sección definida de sobrecimiento reforzado	G2	
Representación de sobrecimiento reforzado	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)



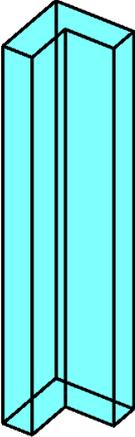
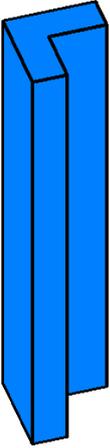
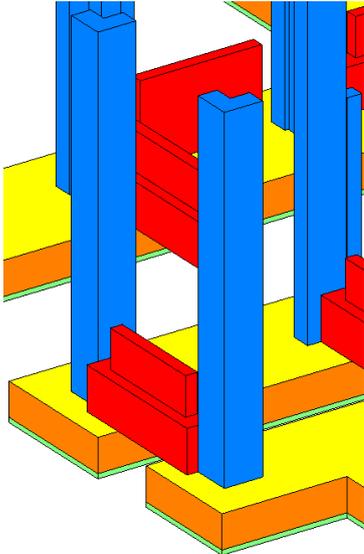
k) Elementos verticales.

Los elementos de modelado que pertenecen a esta categoría son “columnas estructurales”. Para lo cual se considera lo siguiente:

- Columna estructural
- Muro de corte
- Muro de contención

Tabla 29:

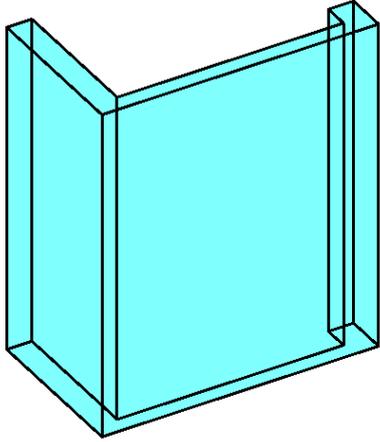
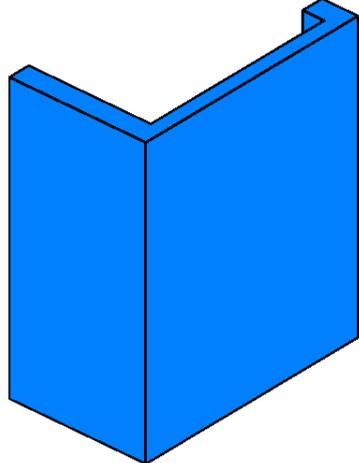
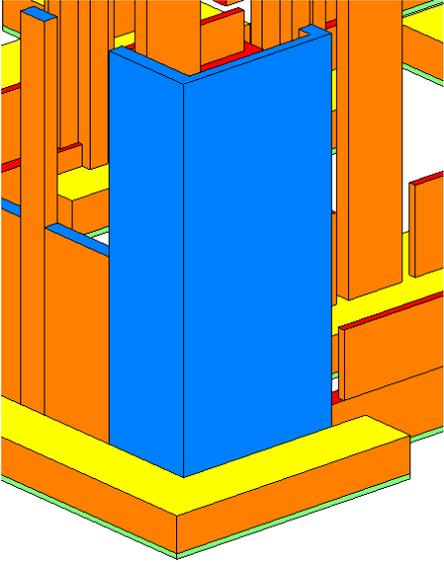
Nivel de detalle gráfico, columna

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>Structural Columns</i>	Familia: Columna L	Tipo: C 01
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de columna	G1	
Sección definida de columna	G2	
Representación de columna	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Tabla 30:

Nivel de detalle gráfico, placa

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>structural columns</i>	Familia: placa	Tipo: placa 12
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de placa	G1	
Sección definida de placa	G2	
Representación de placa	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)



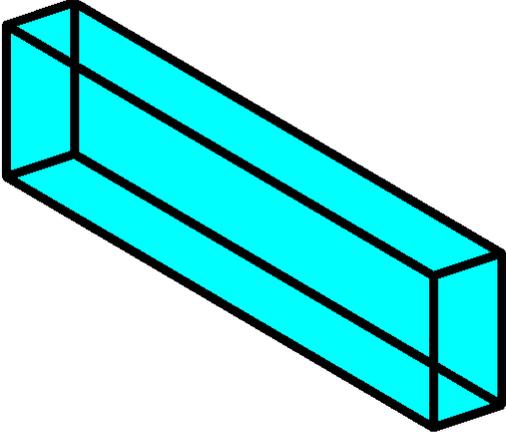
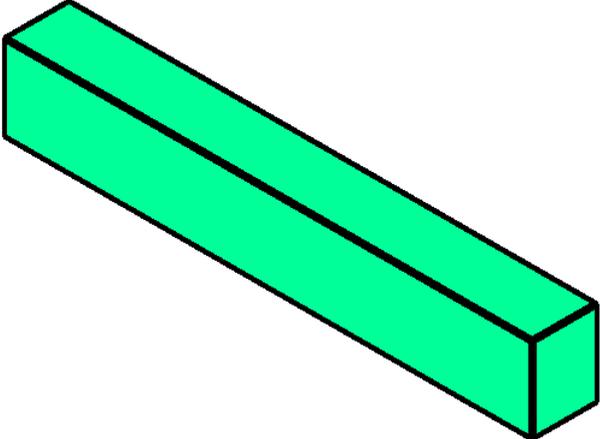
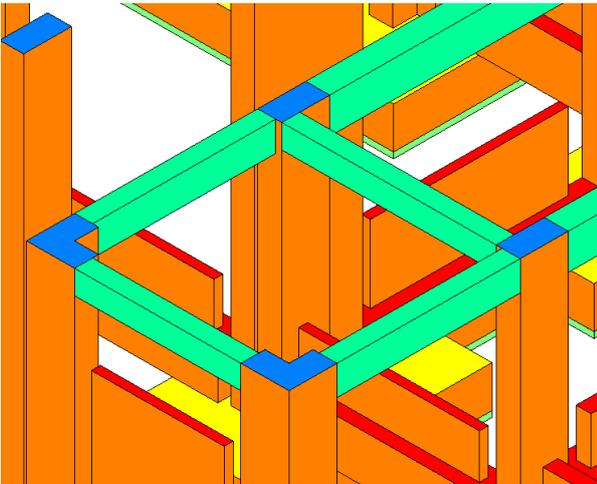
l) Elementos horizontales.

Elementos estructurales que pertenecen a esta categoría denominados “vigas estructurales” y serán identificadas de acuerdo a sus parámetros generados (altura, longitud y espesor). También pertenecen las “losas estructurales”:

- Viga
- Losa aligerada
- Losa maciza

Tabla 31:

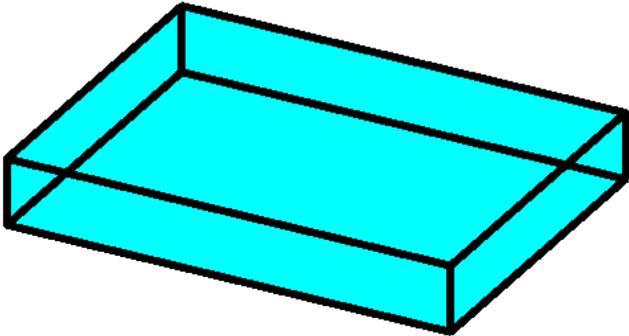
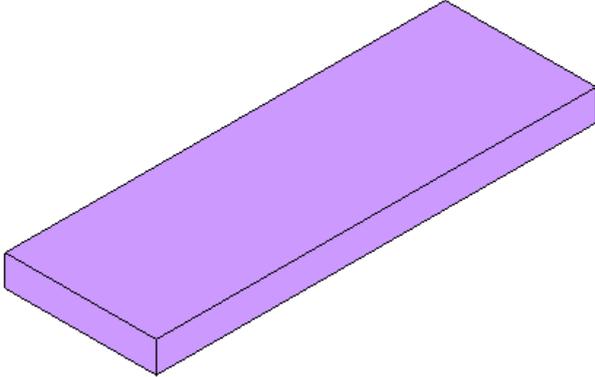
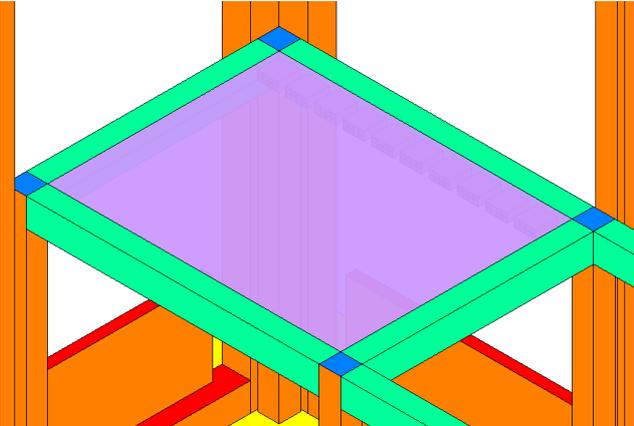
Nivel de detalle gráfico, viga

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>structural framing</i>	Familia: viga	Tipo: v13
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de la viga	G1	
Sección definida de la viga	G2	
Representación de la viga	G3	

Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Tabla 32:

Nivel de detalle gráfico, losa aligerada

Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>structural floor</i>	Familia: losa aligerada	Tipo: la 0.20
Descripción	Gráfico	Imagen
Esquema de losa aligerada	G1	
Sección definida de losa aligerada	G2	
Representación de losa aligerada	G3	

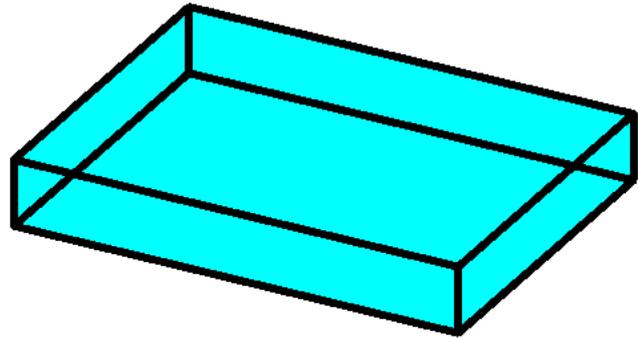
Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Tabla 33:

Nivel de detalle gráfico, losa maciza

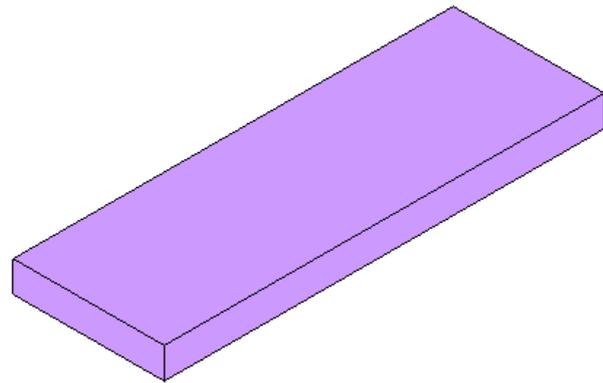
Nivel de detalle gráfico		
Categoría: <i>structural floor</i>	Familia: losa maciza	Tipo: Im 0.20
Descripción	Gráfico	imagen
Esquema de losa maciza		

G1



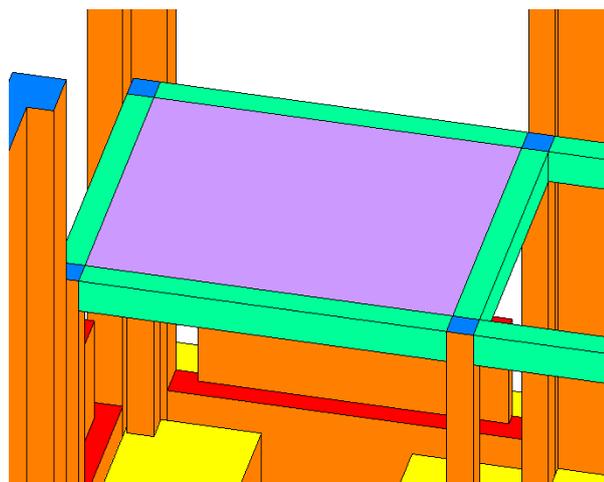
Sección definida de losa maciza

G2



Representación de losa maciza

G3



Nota: Adaptado de guía PEB-España (2018)

Gestión de información.

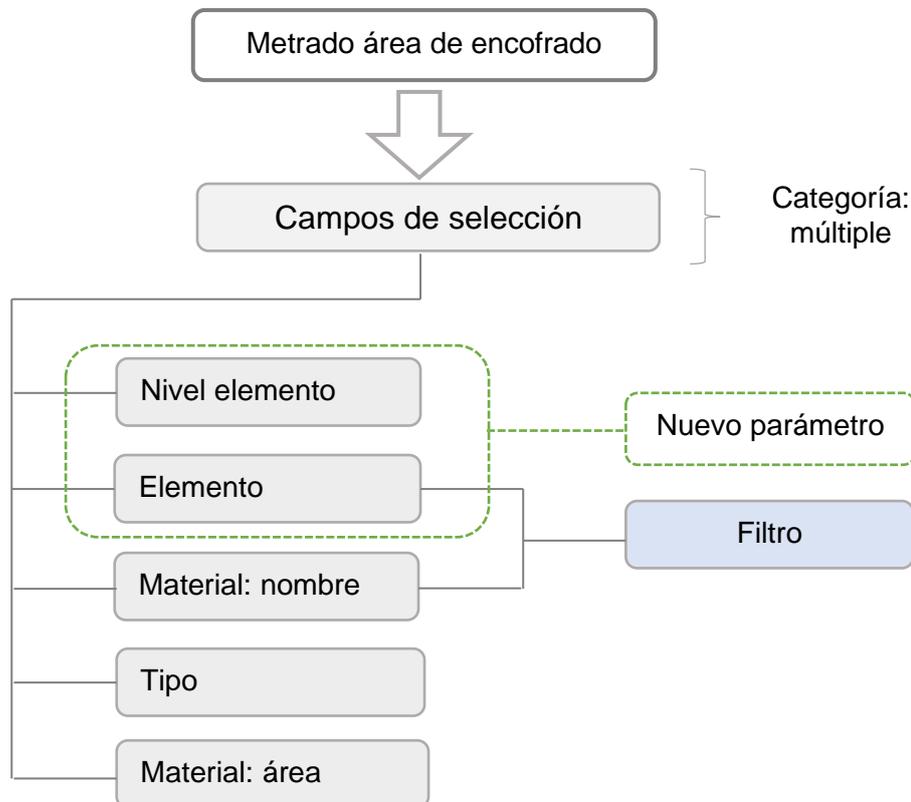
m) *Tablas de planificación para cuantificación de materiales.*

Las tablas de planificación para cuantificación de materiales de los elementos del modelo son imprescindibles para manejo de datos en tiempo real. Toda la gestión de información está basada en el control paramétrico de los elementos que conforman el proyecto y esto permite la flexibilidad de edición de los mismos.

Para la presente investigación se obtuvo cuantificación de materiales para la especialidad de estructuras a partir de modelos virtuales ya generados. La gestión de información de metrado es de volumen de concreto y área de encofrado, como se muestra en la Figura 50 y 51.

Figura 50:

Configuración metrado tradicional de área de encofrado



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

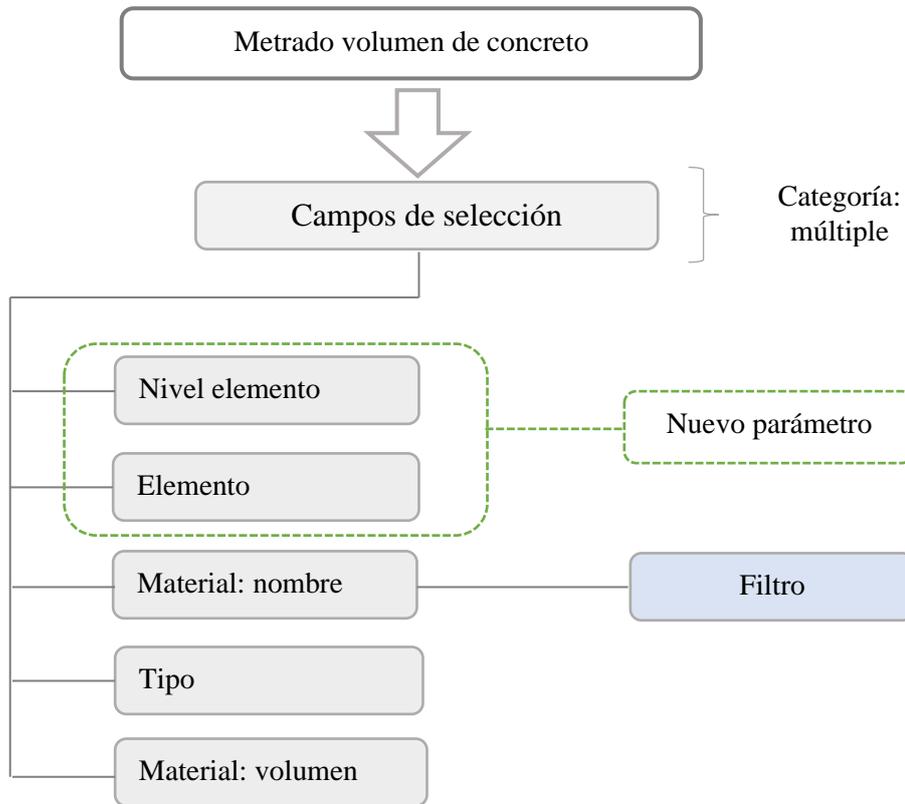
Tabla 34:

Tabla de planificación de encofrado para sobrecimiento

<5. Metrado Encofrado Sobrecimiento>				
A	B	C	D	E
Nivel Elemento	Elemento	Material: Name	Type	Material: Area
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	6.23 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	1.43 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	1.68 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	4.54 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	4.56 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	3.74 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	4.06 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	4.54 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	3.66 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	5.92 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	4.74 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	5.01 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	2.99 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	5.71 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	2.80 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	3.31 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	4.34 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	1.61 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	4.20 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	1.13 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	2.85 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	0.53 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	3.45 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	3.48 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	1.15 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	1.21 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 02	3.11 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 02	1.12 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	4.17 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 03	3.12 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 02	4.62 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 04	5.98 m ²
Fundacion Cimentacion	Sobrecimiento	Encofrado	SC 01	2.76 m ²
Grand total: 33				113.75 m ²

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 51:
Configuración medrado tradicional de volumen de concreto



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 35:

Tabla planificación de volumen de concreto en sobrecimiento

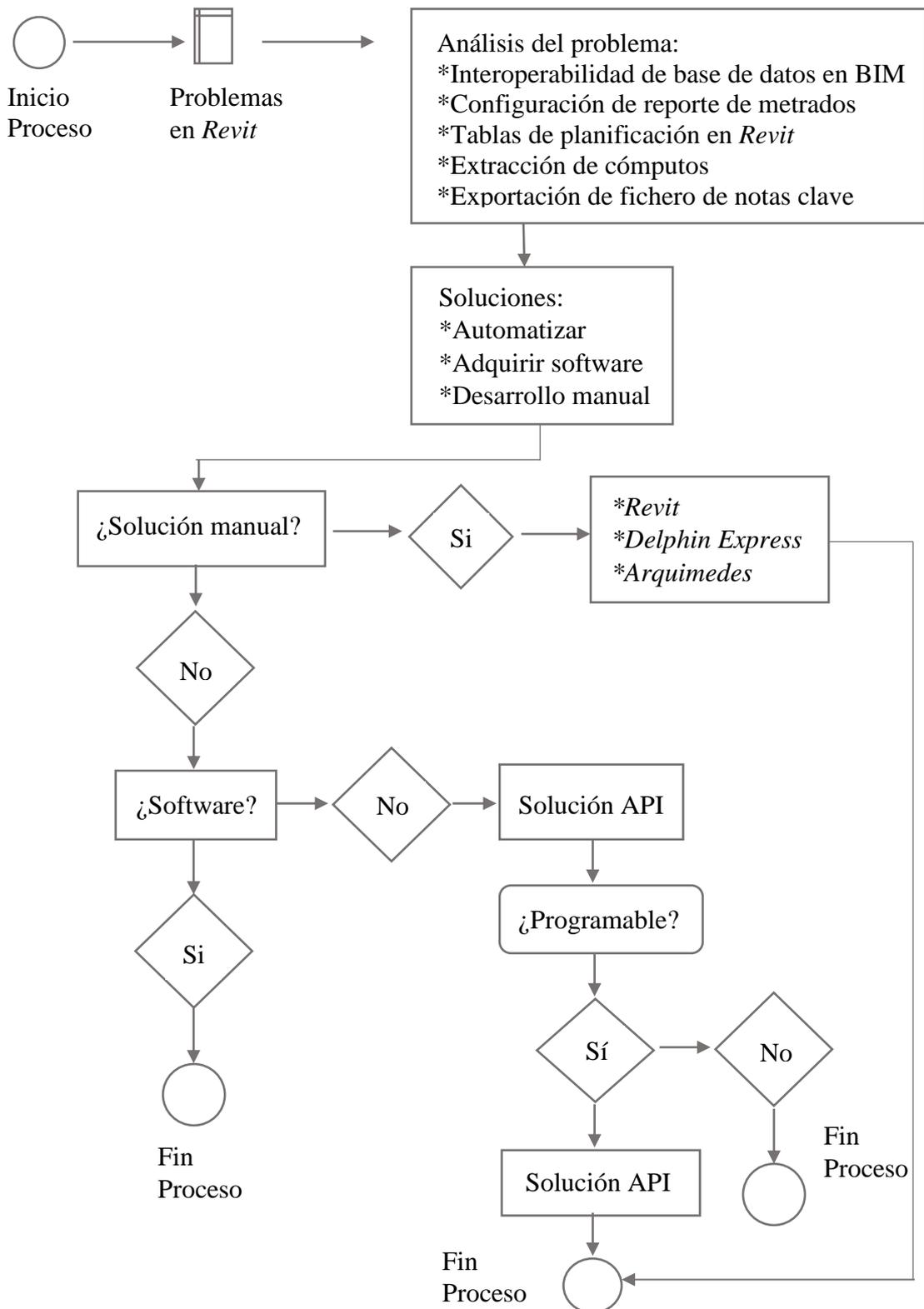
<5. Metrado Concreto Sobrecimiento, $f_c=140\text{kg/cm}^2$ >				
A	B	C	D	E
Nivel Elemento	Elemento	Material: Name	Type	Material: Volume
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.45 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.09 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.11 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.52 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.52 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.42 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.46 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.52 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.26 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.69 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.34 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.36 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.32 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.66 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.30 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.36 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.31 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.10 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.48 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.07 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.20 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.02 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.24 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.24 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.07 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.07 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 02	0.22 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 02	0.07 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.30 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 03	0.34 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 02	0.33 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 04	0.70 m ³
Fundacion Cimenta	Sobrecimiento	Sobrecimiento $F_c=140\text{ kg/cm}^2$	SC 01	0.19 m ³
Grand total: 33				10.32 m ³

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

n) *Automatización de cuantificación de materiales.*

Para la investigación se implementó la automatización de cuantificación de materiales de los componentes estructurales de la edificación. *Autodesk Revit* proporciona a la comunidad de programadores y dedicados al rubro de la construcción un complemento denominado API (*Application Programming Interface*) para personalizar las funciones y vincular con software de *Revit*.

Figura 52:
Viabilidad de desarrollo de la API

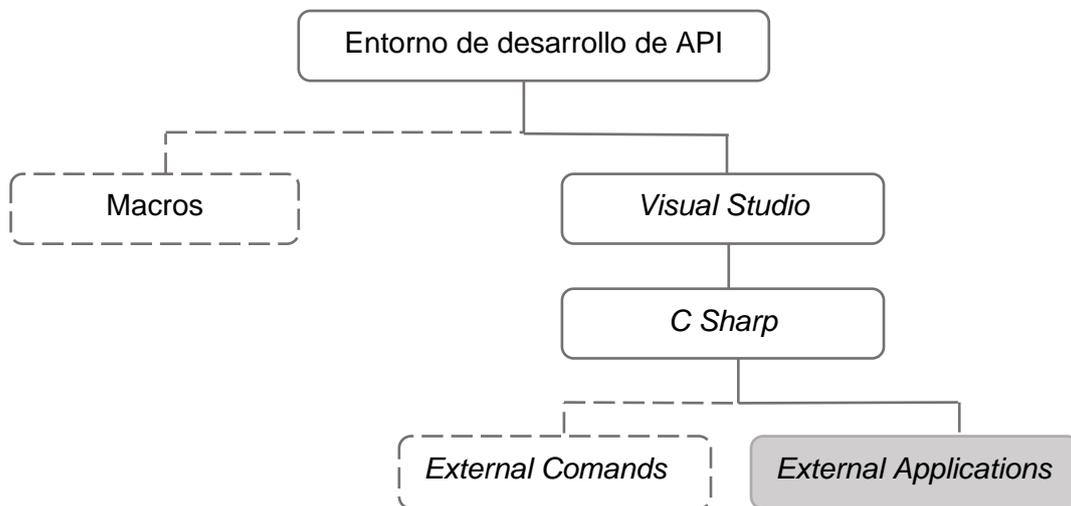


Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

La *External Application* es la manera más personalizada de desarrollar para el usuario y versatilidad en el manejo.

Figura 53:

Entorno de desarrollo de API

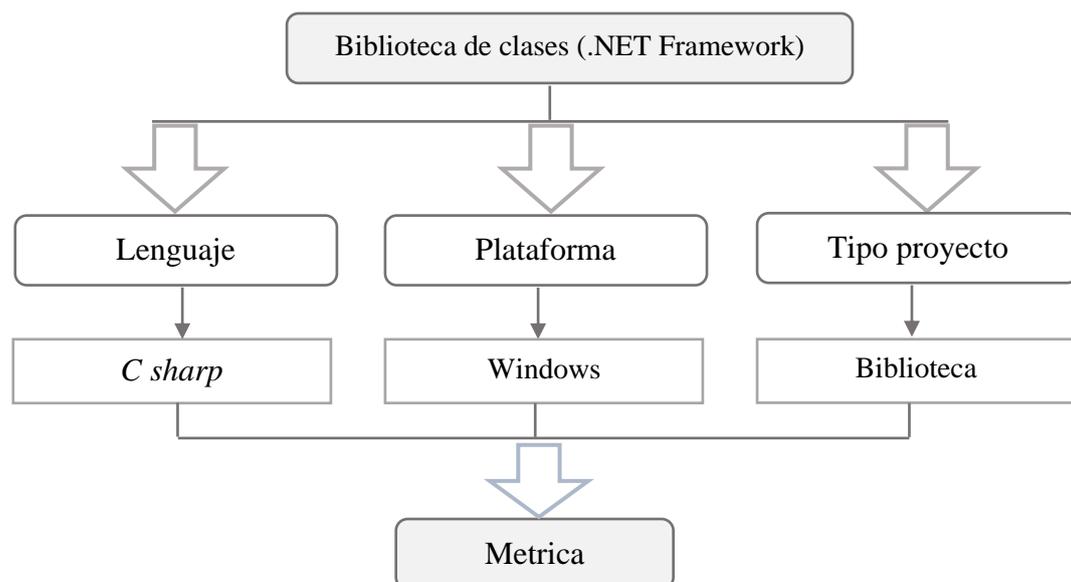


Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

La implementación de la aplicación externa denominada *métrica* se genera en un nuevo proyecto dentro de Visual Studio:

Figura 54:

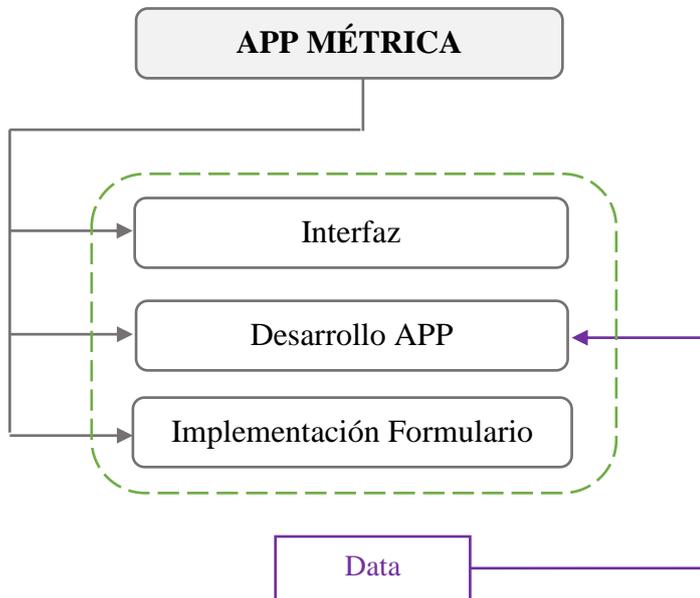
Entorno de desarrollo de la aplicación externa métrica en Visual Studio



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 55:

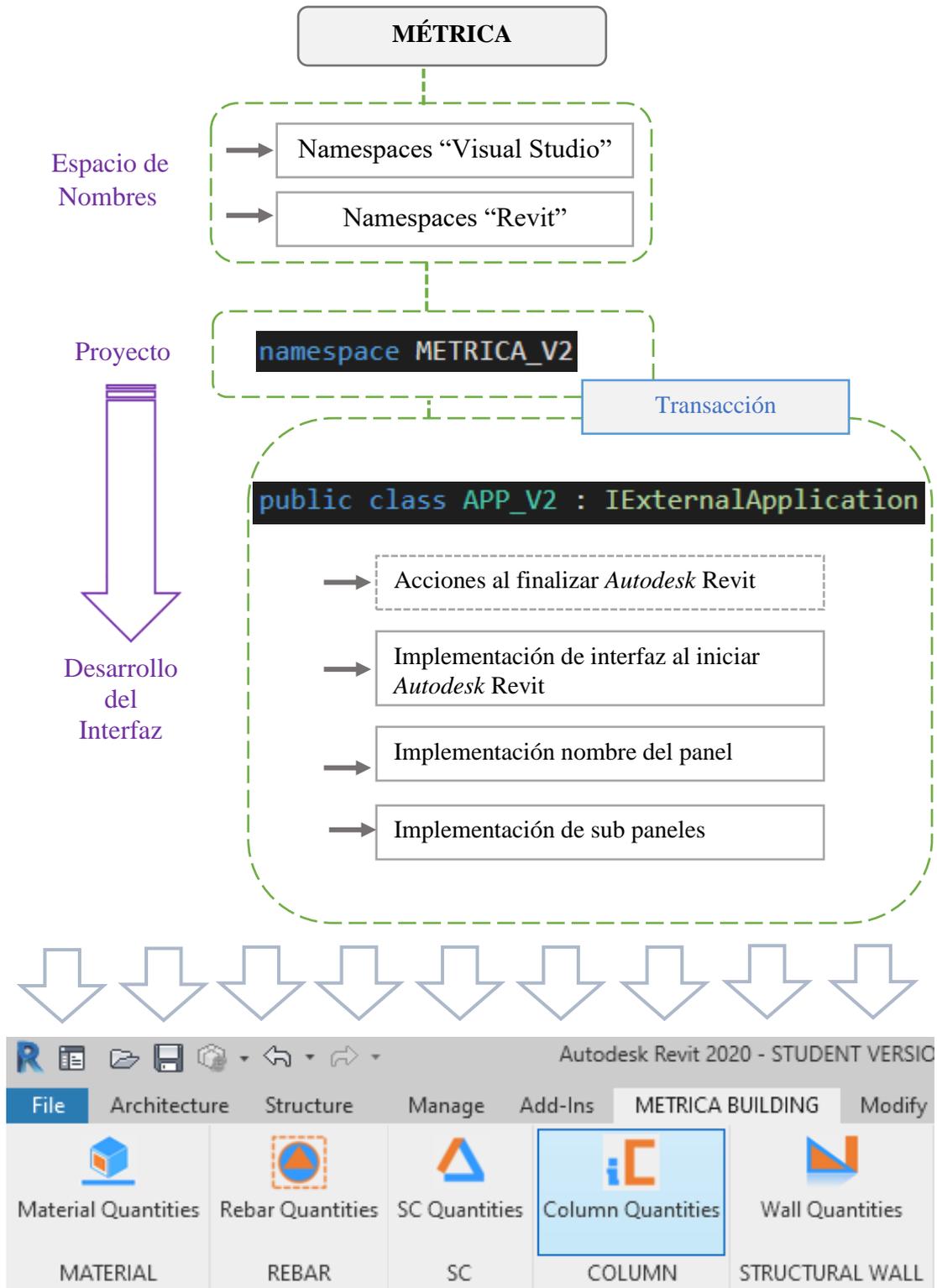
Resumen de desarrollo de APP métrica



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 56:

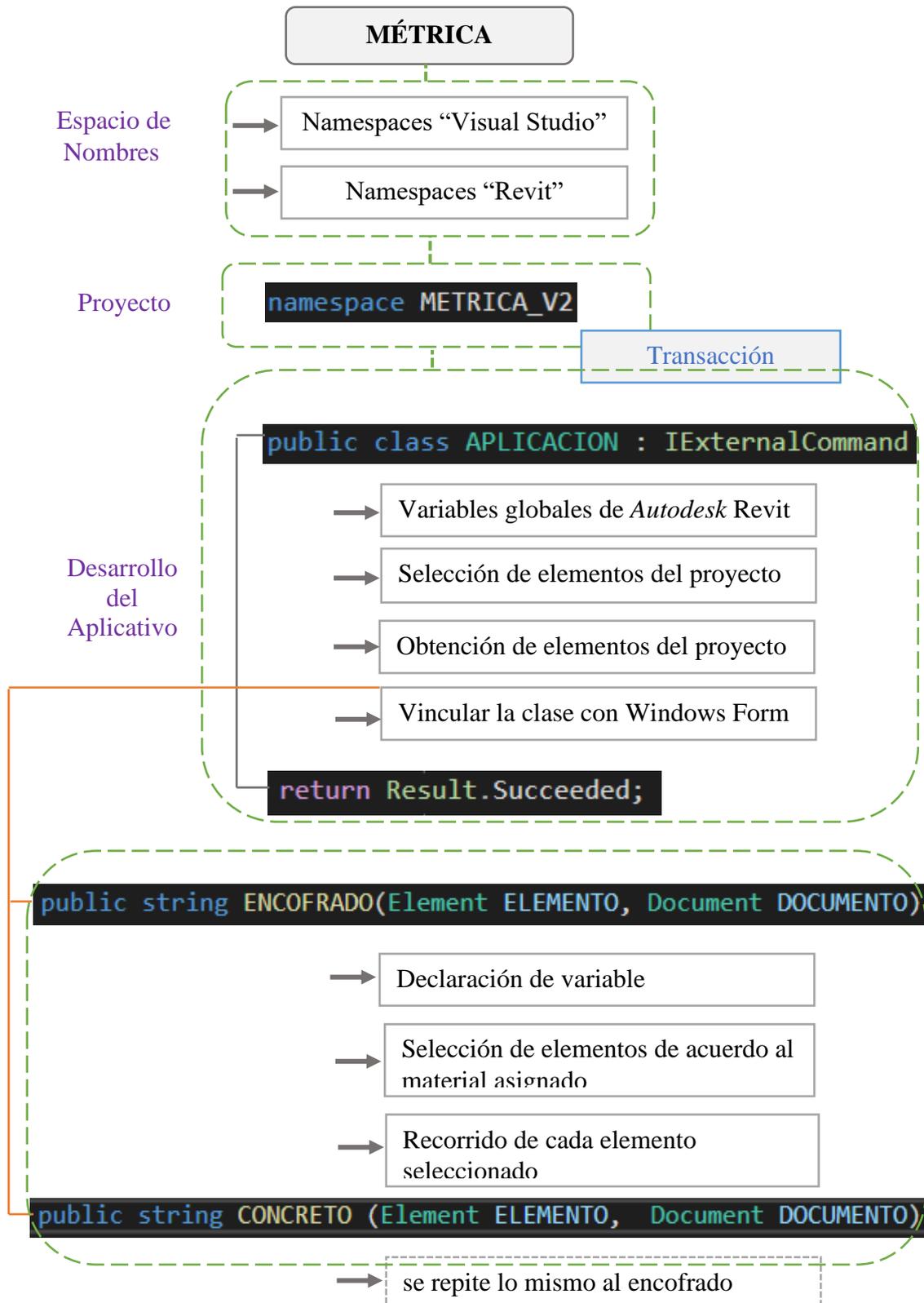
Desarrollo de implementación de interfaz para métrica



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 57:

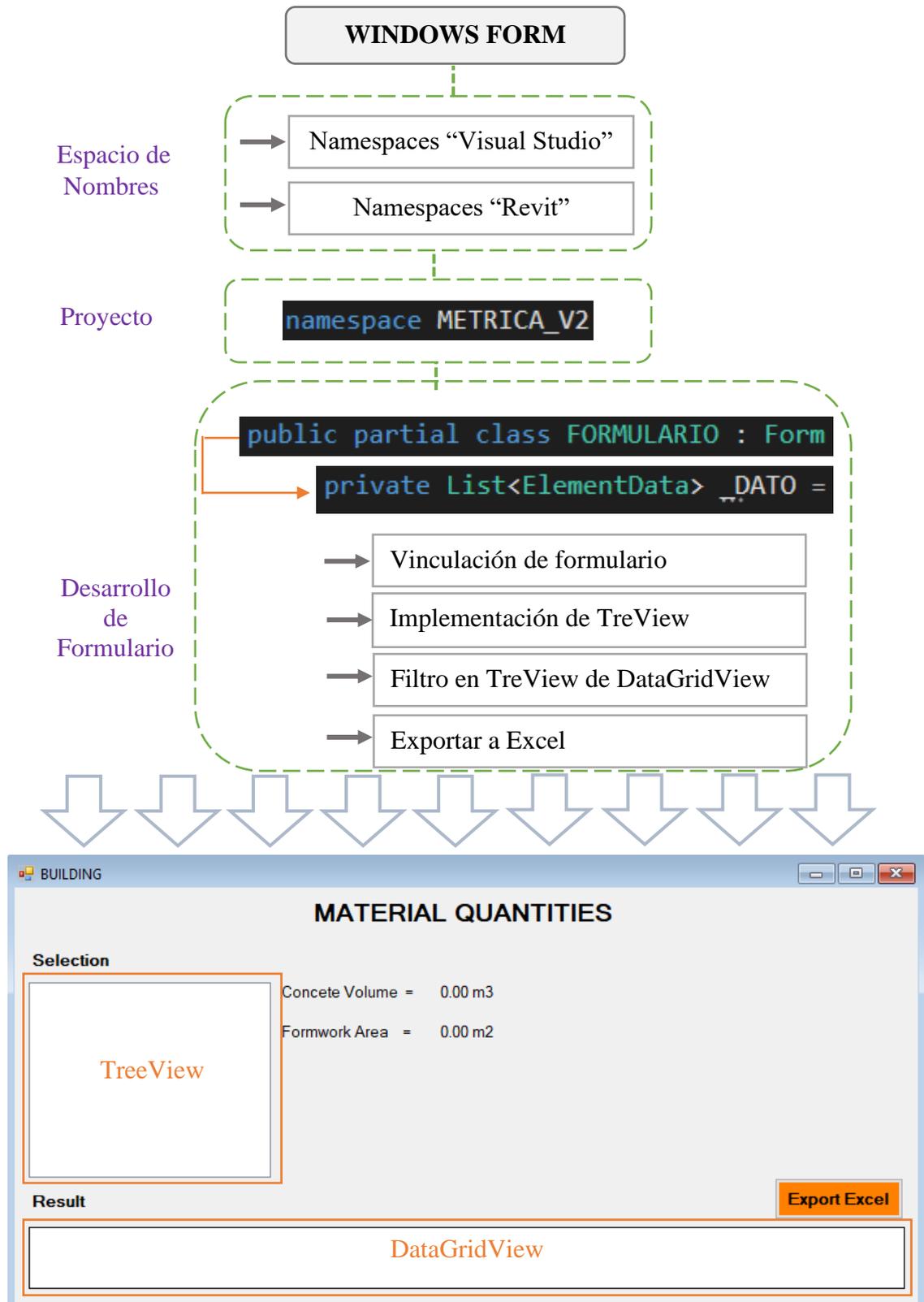
Desarrollo de programación orientada a objetos para métrica



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 58:

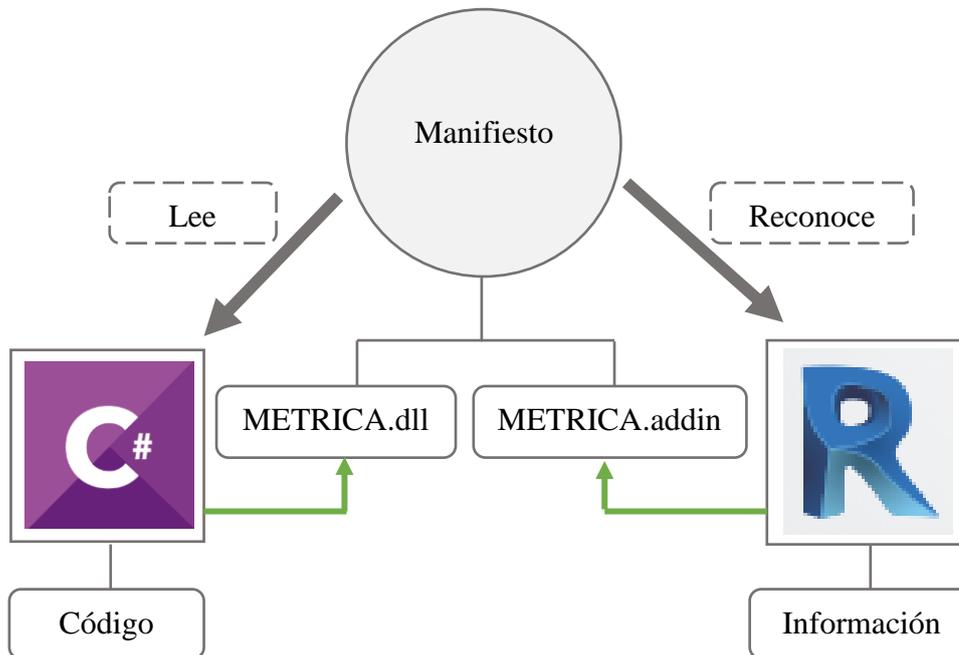
Implementación de formulario "Windows Form"



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 59:

Manifiesto de lectura de código



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 36:

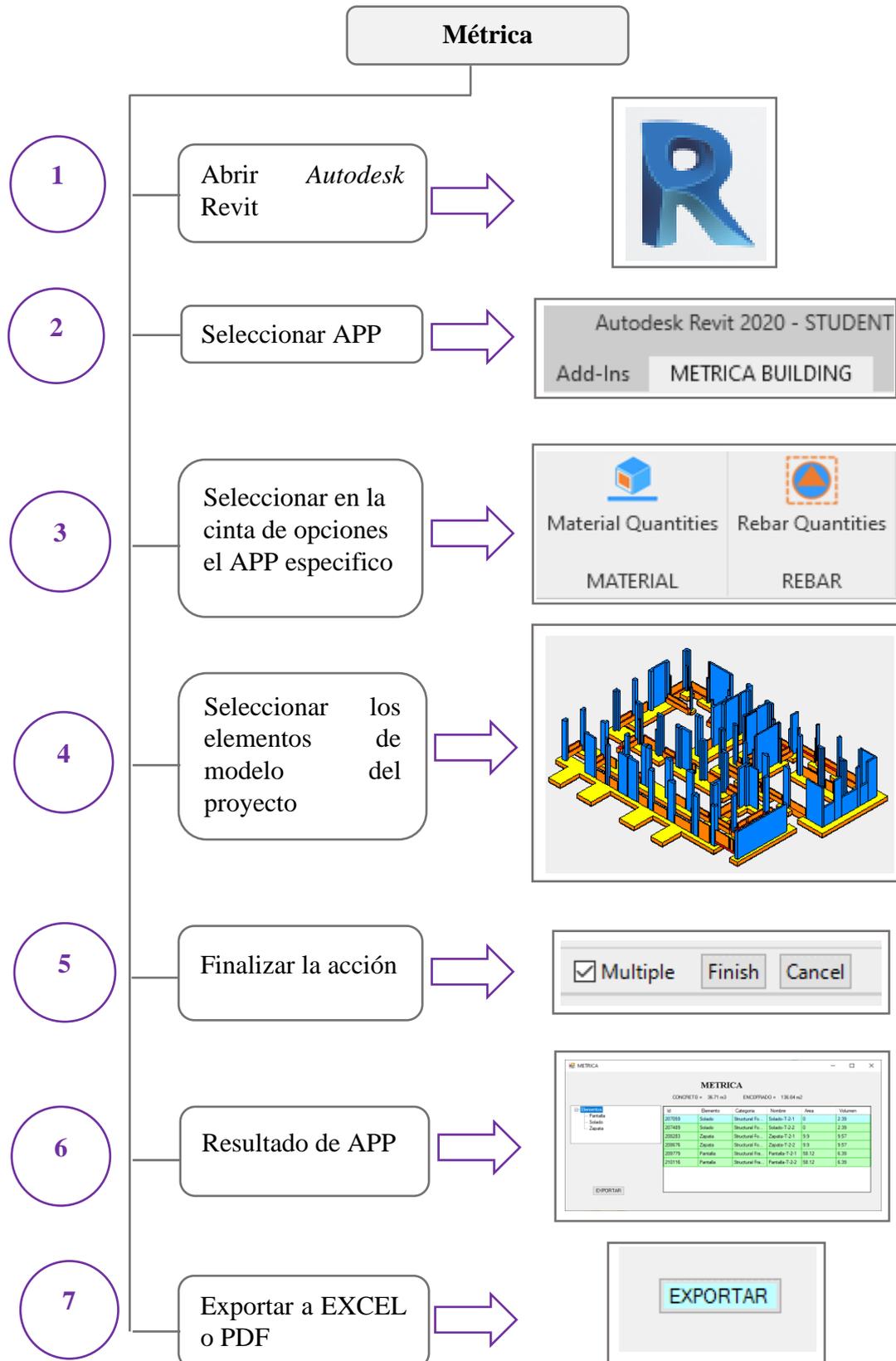
Cuantificación de materiales de APP métrica

The screenshot shows a software window titled 'BUILDING MATERIAL QUANTITIES'. It displays a list of materials under the 'Selection' tab. The 'Result' section shows a table with columns: Id, Elemento, Categoria, Nombre, Encofrado, Desencofrado, and Concreto. The table lists various materials like 'Solado' and 'Structural Fou...' with their respective quantities.

Id	Elemento	Categoria	Nombre	Encofrado	Desencofrado	Concreto
223944	Solado	Structural Fou...	S-1	0	0	0.84
224457	Solado	Structural Fou...	S-2	0	0	3.37
225148	Solado	Structural Fou...	S-3	0	0	3.44
225792	Solado	Structural Fou...	S-7	0	0	4.76
226242	Solado	Structural Fou...	S-5	0	0	1.78
226558	Solado	Structural Fou...	S-8	0	0	3.61
227023	Solado	Structural Fou...	S-10	0	0	3.53
227456	Solado	Structural Fou...	S-12	0	0	0.52
227910	Solado	Structural Fou...	S-13	0	0	2.22
228310	Solado	Structural Fou...	S-15	0	0	2.85
228675	Solado	Structural Fou...	S-14	0	0	0.4
229289	Solado	Structural Fou...	S-14	0	0	0.4
229508	Solado	Structural Fou...	S-16	0	0	0.57

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 60:
Guía de ejecución del aplicativo: métrica



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 61:

Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM

MATERIAL QUANTITIES

Selection

- Elementos
 - Cimiento Corrido
 - Sobrecimiento
 - Sobrecimiento Reforzado
 - Solado
 - Viga Cimentacion
 - Zapata

Concrete Volume = 927.5 m3
Formwork Area = 3053.05 m2

Result [Export Excel](#)

	Id	Elemento	Categoria	Nombre	Encofrado	Desencofrado	Concreto
▶	223944	Solado	Structural Fou...	S-1	0	0	0.84
	224457	Solado	Structural Fou...	S-2	0	0	3.37
	229508	Solado	Structural Fou...	S-16	0	0	0.57

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



Vistas y planos.

Concluyendo los entregables finales del plan de ejecución BIM se realizó el montaje de visualización de los elementos modelados para lo cual se consideró varios aspectos:

- Escala de la vista
- Rangos de vistas
- Visualización del modelo
- Visualización de piezas
- Nivel de detalle
- Modificación de visibilidad
- Líneas de croquis

Luego de haber realizado el montaje de vistas básico, se procede a configurar la escala, el tamaño, formato de presentación, para lo cual se consideran los siguientes aspectos:

- Planos de planta
- Alzados
- Secciones
- Planos de detalle
- Rotulado de láminas

Tabla 37:

Esquema de montaje de vistas y planos

Vistas y planos		Actividades
Montaje de vistas	Revisión de vistas	Revisión de elementos ocultos Revisión de plantilla de vistas
	Anotación	Generar parámetros Generar etiquetas Insertar etiquetas Acotación
	Montaje de tablas	Generar tablas de planificación Formato de tablas Insertar tablas
	Montaje de leyendas	Generar leyendas Insertar leyendas
Montaje de planos	Revisión y control	Insertar vistas en planos Rótulo, escala, norte, símbolos Revisar título de vistas, textos, cotas Revisar planos por zonas, leyendas
	Planos generales	Planos de planta Planos de elevaciones Planos de secciones
	Planos específicos	Planos de detalle

Nota: Adaptado de Barco (2018)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del primer caso de estudio

Estructuras de contención.

El desarrollo y coordinación de proyectos BIM, en la actualidad es un caso de éxito en el rubro de la construcción, por lo cual, es imprescindible tener un plan de ejecución BIM (PEB) para el desarrollo de proyectos bajo esa metodología.

Tabla 38:

Resumen de plan de ejecución BIM del proyecto

N.º	Hito	Entregable	Fecha Inicio	Fecha Entrega
1	Inicio del proyecto		1/10/2020	11/10/2020
1.1	Plan de ejecución BIM		2/10/2020	6/10/2020
1.2	Estándares del proyecto		7/10/2020	7/10/2020
1.3	Estructura de datos		7/10/2020	7/10/2020
1.4	Configuración de datos del modelo		7/10/2020	7/10/2020
1.5	Configuración de estructura del modelo		8/10/2020	8/10/2020
1.6	Estrategias de objetos BIM		8/10/2020	8/10/2020
1.7	Configuración de grafismo		9/10/2020	10/10/2020
2	Modelado de estructuras		12/10/2020	22/10/2020
2.1	Aspectos generales		12/10/2020	12/10/2020
2.2	Elementos de referencia		12/10/2020	12/10/2020
2.3	Elementos de cimentación		13/10/2020	13/10/2020
2.4	Elementos de muros		14/10/2020	14/10/2020
2.5	Elementos de acero estructural		15/10/2020	21/10/2020
3	Gestión de información		23/10/2020	25/10/2020
3.1	Metrado tradicional de estructuras		23/10/2020	23/10/2020
3.2	Automatización de metrados de estructuras		24/10/2020	24/10/2020
4	Vistas y planos		26/10/2020	1/11/2020
4.1	Montaje de vistas		26/10/2020	27/10/2020
4.2	Montaje de planos		28/10/2020	31/10/2020
5	Cierre del proyecto		2/11/2020	4/11/2020
5.1	Automatización de gestión de información		2/11/2020	3/11/2020

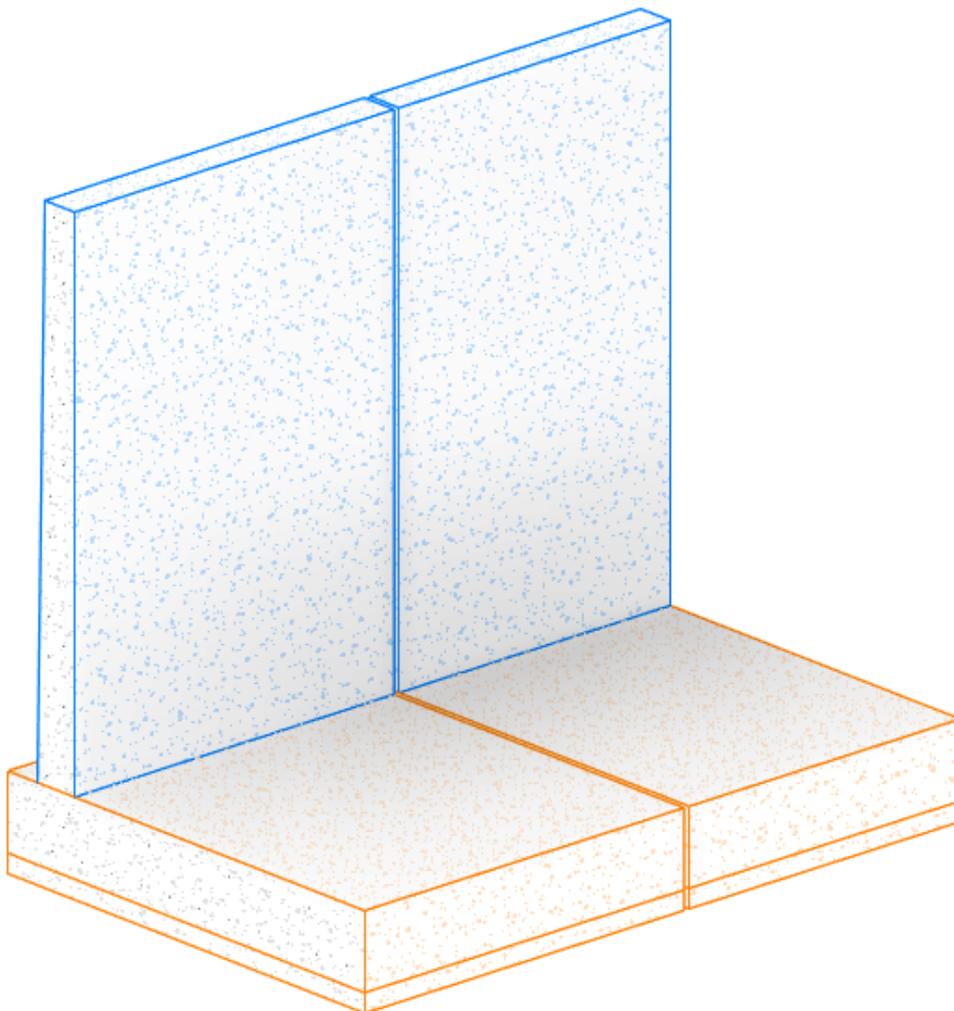
Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

El PEB es un documento donde se controlan las estrategias, actividades, procesos, técnicas, estándares, etc. para el cumplimiento adecuado de proyectos BIM.

El inicio del proyecto BIM se desarrolla para una mejor gestión de información del conjunto del proyecto, además, facilita a trabajar de manera colaborativa y responsable entre los participantes. Una vez definido los estándares previos para el modelado virtual se desarrolla el modelado de estructuras de contención con un nivel de desarrollo de elementos BIM (LOD-300) especificado en el PEB.

Figura 62:

Modelado paramétrico de estructuras de contención



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

La gestión de información de los elementos que lo conforman para estructuras de contención se desarrolla terminado el segundo ítem del plan de ejecución BIM, debido a que están mejor conceptualizados y parametrizados cada uno de los elementos del modelo virtual.

La gestión de información de cuantificación de materiales de manera tradicional con la herramienta BIM (Autodesk Revit) se realiza mediante tablas de planificación, lo cual se configuró como se muestran en la Tabla 40, Tabla 41, Tabla 42 y Tabla 43.

Tabla 39:

Cuantificación con tablas de planificación, concreto en solado

<1. Concreto Solado, $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$ >		
A	B	C
Elemento	Type	Material: Volume
Solado		
Solado	Solado-T-2-1	2.39 m ²
Solado	Solado-T-2-1	0.00 m ²
Solado	Solado-T-2-2	2.39 m ²
Solado	Solado-T-2-2	0.00 m ²
Grand total: 4		4.79 m ²

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 40:

Cuantificación con tablas de planificación, concreto en zapata

<2. Concreto Zapata, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ >		
A	B	C
Elemento	Type	Material: Volume
Zapata		
Zapata	Zapata-T-2-1	0.00 m ²
Zapata	Zapata-T-2-1	9.57 m ²
Zapata	Zapata-T-2-2	0.00 m ²
Zapata	Zapata-T-2-2	9.57 m ²
Grand total: 4		19.14 m ²

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 41:

Cuantificación con tablas de planificación, concreto en pantalla

<3. Concreto Pantalla, f'c=210 kg/cm2>		
A	B	C
Elemento	Type	Material: Volume
Pantalla		
Pantalla	Pantalla-T-2-1	0.00 m ³
Pantalla	Pantalla-T-2-1	6.39 m ³
Pantalla	Pantalla-T-2-2	0.00 m ³
Pantalla	Pantalla-T-2-2	6.39 m ³
Grand total: 4		12.79 m ³

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 42:

Cuantificación con tablas de planificación, acero estructural

<6. Acero Estructural>						
A	B	C	D	E	F	G
Acero Estructural	Material	Bar Length	Quantity	Total Bar Length	Acero kg/m	Acero (kg)
Ø 1/2 pantalla						
Ø 1/2 pantalla	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	3.52 m	26	91.57 m	0.934	85.53
Ø 1/2 pantalla	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.47 m	25	36.85 m	0.934	34.42
Ø 1/2 pantalla	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	3.53 m	26	91.76 m	0.934	85.70
Ø 1/2 pantalla	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.48 m	25	37.12 m	0.934	34.67
Ø 1/2 pantalla: 4				257.30 m		240.32
Ø 1/2 zapata						
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	2.60 m	34	88.40 m	0.934	82.57
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	2.60 m	51	132.63 m	0.934	123.88
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	9.83 m	1	9.83 m	0.934	9.18
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	9.83 m	1	9.83 m	0.934	9.18
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	9.83 m	1	9.83 m	0.934	9.18
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	9.83 m	1	9.83 m	0.934	9.18
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	8.98 m	7	62.86 m	0.934	58.71
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	8.98 m	10	89.78 m	0.934	83.86
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.31 m	7	9.14 m	0.934	8.54
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.30 m	10	13.00 m	0.934	12.15
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	2.59 m	34	88.19 m	0.934	82.37
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	2.60 m	50	129.96 m	0.934	121.38
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	9.00 m	9	80.96 m	0.934	75.61
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.31 m	9	11.80 m	0.934	11.02
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	8.95 m	12	107.43 m	0.934	100.34
Ø 1/2 zapata	Acero Ø=1/2", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.30 m	12	15.62 m	0.934	14.58
Ø 1/2 zapata: 16				869.09 m		811.73
Ø 3/8 pantalla						
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	3.47 m	34	118.04 m	0.526	62.09
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	8.98 m	16	143.75 m	0.526	75.61
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.06 m	16	16.96 m	0.526	8.92
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	9.83 m	11	108.13 m	0.526	56.88
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	3.47 m	34	117.89 m	0.526	62.01
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	8.96 m	16	143.31 m	0.526	75.38
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.21 m	16	19.31 m	0.526	10.16
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	8.98 m	11	98.73 m	0.526	51.93
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.20 m	11	13.22 m	0.526	6.95
Ø 3/8 pantalla	Acero Ø=3/8", Fy=4200kg/cm2, G ³ 60	1.20 m	16	19.15 m	0.526	10.07
Ø 3/8 pantalla: 10				798.48 m		420.00

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Las tablas de planificación son propios de la herramienta BIM (*Autodesk Revit*) la cual necesita previa configuración y su manejo es flexible que requiere conocimiento intermedio del software. No se pueden transportar a otros dispositivos similares las configuraciones realizadas para reutilizar en similares proyectos. La base de datos de los elementos se puede vincular con otras herramientas BIM de forma manual e independiente cada elemento del modelado virtual, esto requiere conocimiento avanzado de software y recurso humano para su realización.

Tabla 43:

Ventajas y desventajas de las tablas de planificación

Cuantificación de materiales con tablas de planificación		
Nº	Características	Resultado
1	Eficiencia	
1.1	Tiempo de ejecución	Extracción de cómputos en tiempo real
2	Funcionalidad	
2.1	Funciones	Manejable y flexible de tablas de planificación si, previo conocimiento intermedio de software.
3	Facilidad de uso	
3.1	Facilidad de uso	Requiere conocimientos intermedios ha avanzado del software
4	Portabilidad	
4.1	Portabilidad	Son propios del sistema, no se transportan.
5	Interoperabilidad	
5.1	Base de datos	Se puede vincular con otros softwares BIM, conocimiento avanzado de <i>Revit</i> .

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

La gestión de información, mediante la automatización para cuantificación de materiales a partir de modelos BIM, es sin duda, la mejor manera de gestionar información personalizada e intuitivo para los involucrados del proyecto.

Para la presente investigación se automatizó el área de encofrado y volumen de concreto de los elementos del modelo BIM. Se generó una aplicación externa (Métrica-API de *Revit*) para extraer la información del modelo y se programó de acuerdo a los datos solicitados para lograr el objetivo del proyecto.

Culminada la implementación de automatización como aplicación externa que proporciona las siguientes características: la extracción de información es en tiempo real, la tabla de planificación ya está configurada y programada de acuerdo al requerimiento, la facilidad de uso es intuitiva para que cualquier involucrado del proyecto pueda usarlo, la aplicación externa (Métrica-API de *Revit*) se puede transportar e instalar sin límite a cualquier dispositivo similar y, no se puede vincular directamente con otras herramientas BIM, pero sí se puede exportar a un archivo editable (Excel o PDF).

Tabla 44:

Ventajas y desventajas de la automatización

<i>Automatización de cuantificación de materiales</i>		
N.º	Características	Resultado
1	Eficiencia	
1.1	Tiempo de ejecución	Extracción de cálculos en tiempo real
2	Funcionalidad	
2.1	Funciones	La tabla de planificación ya está configurada y programada de acuerdo al requerimiento.
3	Facilidad de uso	
3.1	Facilidad de uso	Intuitivo
4	Portabilidad	
4.1	Portabilidad	Es portable el aplicativo, sin límite de instalaciones.
5	Interoperabilidad	
5.1	Base de datos	No se puede vincular, pero sí puede manipular previa exportación a archivo editable.

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Las tablas de planificación que son propias del sistema del software, demandan mucho tiempo en su configuración. En cambio, la solución planteada como tema de tesis para optimizar los recursos con la automatización de cuantificación de materiales a partir de modelos virtuales, por el momento, es la mejor herramienta, no solo para nuestro fin, sino para distintas etapas que involucra un proyecto BIM.

Figura 63:
Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM

The screenshot shows the Autodesk Revit 2020 interface. The top ribbon is set to 'METRICA WALL' and 'Modify'. The 'Material Quantities' button is highlighted. The 3D view shows a wall structure with a rebar grid. The 'Material Quantities' window is open, displaying a table of material quantities.

Id	Elemento	Categoría	Nombre	Area	Volumen
207059	Solado	Structural Fo...	Solado-T-2-1	0	2.39
207489	Solado	Structural Fo...	Solado-T-2-2	0	2.39
208283	Zapata	Structural Fo...	Zapata-T-2-1	9.9	9.57
208676	Zapata	Structural Fo...	Zapata-T-2-2	9.9	9.57
209779	Pantalla	Structural Fra...	Pantalla-T-2-1	58.12	6.39
210116	Pantalla	Structural Fra...	Pantalla-T-2-2	58.12	6.39

CONCRETO = 36.71 m³
ENCOFRADO = 136.04 m²

EXPORTAR

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 64:

Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM

The screenshot shows the Autodesk Revit 2020 interface. The ribbon is set to 'METRICA WALL' and 'Modify'. The 'Rebar Quantities' tool is highlighted in the ribbon. Below the ribbon, there is a 3D model of a wall with rebar. The 'REBAR QUANTITIES' dialog box is open, showing the 'Selection' section with a tree view of elements and a 'Total Bar Length = 1924.87m' value. The 'Result' section contains a table with columns: Id, Elemento, Categoria, Nombre, Pieza, Cantidad, and Longitud. The table lists various rebar elements with their respective quantities and lengths.

Id	Elemento	Categoria	Nombre	Pieza	Cantidad	Longitud
216671	Ø 1/2 zapata	Structural Re...	Ø 1/2" : Shap...	9.83	1	9.83
216699	Ø 1/2 zapata	Structural Re...	Ø 1/2" : Shap...	8.98	7	62.86
217232	Ø 1/2 zapata	Structural Re...	Ø 1/2" : Shap...	8.98	10	89.78
217955	Ø 1/2 pantalla	Structural Re...	Ø 1/2" : Shap...	3.52	26	91.57
218007	Ø 3/8 pantalla	Structural Re...	Ø 3/8" : Shap...	3.47	34	118.04
218461	Ø 1/2 zapata	Structural Re...	Ø 1/2" : Shap...	1.31	7	9.14
219452	Ø 1/2 zapata	Structural Re...	Ø 1/2" : Shap...	1.3	10	13
220757	Ø 3/8 pantalla	Structural Re...	Ø 3/8" : Shap...	8.98	16	143.75
221032	Ø 3/8 pantalla	Structural Re...	Ø 3/8" : Shap...	1.06	16	16.96
221550	Ø 3/8 pantalla	Structural Re...	Ø 3/8" : Shap...	9.83	11	108.13

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 45:

Cuantificación de volumen de concreto con la automatización

Volumen de concreto						
Partida:	1. Metrado de volumen de concreto				Vol. concreto	36.70
					Área	136.04
Id	Elemento	Categoría	Nombre	Encofrado	Concreto	
1.1 Metrado de solado, f'c=100 kg/cm2						4.78
207059	Solado	<i>Foundations</i>	Solado-T-2-1	0	2.39	
207489	Solado	<i>Foundations</i>	Solado-T-2-2	0	2.39	
1.2 Metrado de zapata, f'c=210 kg/cm2						19.14
208283	Zapata	<i>Foundations</i>	Zapata-T-2-1	9.9	9.57	
208676	Zapata	<i>Foundations</i>	Zapata-T-2-2	9.9	9.57	
1.3 Metrado de pantalla, f'c=210 kg/cm2						12.78
209779	Pantalla	<i>Framing</i>	Pantalla-T-2-1	58.12	6.39	
210116	Pantalla	<i>Framing</i>	Pantalla-T-2-2	58.12	6.39	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 46:

Cuantificación de área de encofrado con la automatización

Área de encofrado						
Partida:	2. Metrado de área de encofrado				Vol. C°	36.70
					Área	136.04
					encofrada	136.04
Id	Elemento	Categoría	Nombre	Encofrado	Concreto	
2.1 Metrado de solado				0		
207059	Solado	<i>Foundations</i>	Solado-T-2-1	0	2.39	
207489	Solado	<i>Foundations</i>	Solado-T-2-2	0	2.39	
2.2 Metrado de zapata				19.8		
208283	Zapata	<i>Foundations</i>	Zapata-T-2-1	9.9	9.57	
208676	Zapata	<i>Foundations</i>	Zapata-T-2-2	9.9	9.57	
2.3 Metrado de pantalla				116.24		
209779	Pantalla	<i>Framing</i>	Pantalla-T-2-1	58.12	6.39	
210116	Pantalla	<i>Framing</i>	Pantalla-T-2-2	58.12	6.39	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla 47:

Cuantificación de acero estructural con la automatización

Acero estructural						
Partida:	1. Metrado de acero estructural, f'y=4200kg/cm2			Ø 1/2	1126.38	
				Ø 3/8	798.49	
Id	Elemento	Categoría	Nombre	Pieza	Cantidad	Longitud
1.1 Acero en zapata de Ø 1/2 “, f'y=4200kg/cm2						869.08
215345	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		2.6	34	88.4
215577	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		2.6	51	132.63
216299	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		9.83	1	9.83
216547	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		9.83	1	9.83
216620	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		9.83	1	9.83
216671	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		9.83	1	9.83
216699	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		8.98	7	62.86
217232	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		8.98	10	89.78
218461	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		1.31	7	9.14
219452	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		1.3	10	13
223399	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		2.59	34	88.19
223401	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		2.6	50	129.96
225119	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		8.99	9	80.95
225652	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		1.31	9	11.8
225877	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		8.95	12	107.43
226200	Ø 1/2 zapata	Structural Rebar		1.3	12	15.62
1.2 Acero en pantalla de Ø 1/2 “, f'y=4200kg/cm2						257.30
222064	Ø 1/2 pantalla	Structural Rebar		1.47	25	36.85
217955	Ø 1/2 pantalla	Structural Rebar		3.52	26	91.57
227474	Ø 1/2 pantalla	Structural Rebar		3.53	26	91.76
228659	Ø 1/2 pantalla	Structural Rebar		1.48	25	37.12
1.3 Acero en pantalla de Ø 3/8 “, f'y=4200kg/cm2						798.49
226367	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		3.47	34	117.89
226836	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		8.96	16	143.31
227112	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		1.21	16	19.31
227909	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		8.98	11	98.73
228258	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		1.2	11	13.22
229259	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		1.2	16	19.15
218007	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		3.47	34	118.04
220757	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		8.98	16	143.75
221032	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		1.06	16	16.96
221550	Ø 3/8 pantalla	Structural Rebar		9.83	11	108.13

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.2. Resultado del segundo caso de estudio

Componente estructural de edificación.

El desarrollo y coordinación de proyectos BIM, en la actualidad, es un caso de éxito en el rubro de la construcción, por lo cual es imprescindible tener un plan de ejecución BIM (PEB) para el desarrollo de proyectos bajo esa metodología.

Tabla 48:

Resumen de plan de ejecución BIM del proyecto

N.º	Hito	Entregable	Fecha inicio	Fecha entrega
1	Inicio del proyecto		23/12/2020	02/01/2021
1.1	Plan de ejecución BIM		23/12/2020	28/12/2020
1.2	Estándares del proyecto		29/12/2020	29/12/2020
1.3	Estructura de datos		29/12/2020	29/12/2020
1.4	Configuración de datos del modelo		29/12/2020	29/12/2020
1.5	Configuración de estructura del modelo		30/12/2020	30/12/2020
1.6	Estrategias de objetos BIM		30/12/2020	30/12/2020
1.7	Configuración de grafismo		31/12/2020	02/01/2021
2	Modelado de estructuras		03/01/2021	27/01/2021
2.1	Aspectos generales		03/01/2021	03/01/2021
2.2	Elementos de referencia		03/01/2021	03/01/2021
2.3	Elementos de cimentación		04/01/2021	08/01/2021
2.4	Elementos de columnas y placas		09/01/2021	13/01/2021
2.5	Elementos de vigas horizontales		14/01/2021	18/01/2021
2.6	Elementos de losas		18/01/2021	22/01/2021
2.7	Elementos de escaleras y rampas		22/01/2021	26/01/2021
3	Gestión de información		27/01/2021	14/02/2021
3.1	Metrado tradicional de estructuras		27/01/2021	29/01/2021
3.2	Automatización de metrados de estructuras		29/01/2021	14/02/2021
4	Vistas y planos		15/02/2021	20/02/2021
4.1	Montaje de vistas		15/02/2021	17/02/2021
4.2	Montaje de planos		18/02/2021	20/02/2021
5	Cierre del proyecto		21/02/2021	27/02/2021
5.1	Automatización de gestión de Información		21/02/2021	27/02/2021

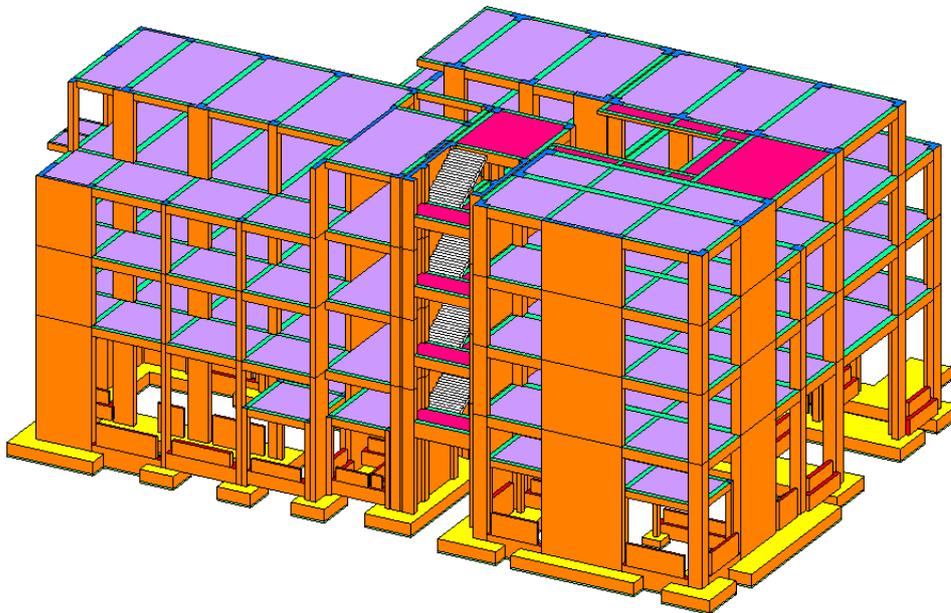
Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

El PEB es un documento donde se controlan las estrategias, actividades, procesos, técnicas, estándares, etc. para el cumplimiento adecuado de proyectos BIM.

El inicio del proyecto BIM, se desarrolla para una mejor gestión de información del conjunto del proyecto; además, facilita el trabajo colaborativo y responsable entre los participantes. Una vez definidos los estándares previos para el modelado virtual se desarrolla el modelado de estructuras de la edificación con un nivel de desarrollo de elementos BIM (LOD-300) especificado en el PEB.

Figura 65:

Modelado paramétrico del componente estructural de la edificación



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

La gestión de información, de los elementos que lo conforman para estructuras de contención, se desarrolla terminado el segundo ítem del plan de ejecución BIM, debido a que están mejor conceptualizados y parametrizados cada uno de los elementos del modelo virtual.

La gestión de información de cuantificación de materiales de manera tradicional con la herramienta BIM (*Autodesk Revit*) se realiza mediante tablas de planificación, las cuales brindan ciertas bondades, como se aprecia en la Tabla 49.

Tabla 49:
Ventajas y desventajas de tablas de planificación

Cuantificación de materiales con tablas de planificación

N.º	Características	Resultado
1	Eficiencia	
1.1	Tiempo de ejecución	Extracción de cómputos en tiempo real
2	Funcionalidad	
2.1	Funciones	Manejable y flexible de tablas de planificación si, previo conocimiento intermedio de software
3	Facilidad de uso	
3.1	Facilidad de uso	Requiere conocimientos intermedios ha avanzado del software
4	Portabilidad	
4.1	Portabilidad	Son propios del sistema, no se transportan.
5	Interoperabilidad	
5.1	Base de datos	Se puede vincular con otros softwares BIM, conocimiento avanzado de <i>Revit</i> .

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Las tablas de planificación son propias de la herramienta BIM (*Autodesk Revit*) que necesita una configuración previa y su manejo es flexible, aunque requiere conocimiento intermedio del software. Las configuraciones realizadas no se pueden compartir a otros dispositivos similares para reutilizarse en proyectos similares. La base de datos de los elementos se puede vincular con otras herramientas BIM de forma manual e independiente cada elemento del modelado virtual, esto requiere conocimiento avanzado de software y recurso humano para su realización.

Tabla 50:

Cuantificación con tablas de planificación, concreto en zapata

<2. Metrado Concreto Zapata, f'c=280 kg/cm2>				
A	B	C	D	E
Nivel Elemento	Elemento	Material: Name	Type	Material: Volume
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-1	5.89 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-5	12.43 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-2	23.56 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-7	33.32 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-10	24.70 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-12	3.64 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-14	2.80 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-14	2.80 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-16	4.00 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-16	4.00 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-15	19.95 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-13	15.54 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-3	24.11 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-8	25.31 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-4	21.51 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-9	22.77 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-18	6.52 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-14	2.80 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-20	14.00 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z-17	12.05 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Zapata-19	31.64 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Zapata-11	84.89 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z6	0.48 m³
Fundacion Cimentacion	Zapata	Zapata Fc=280 kg/cm2	Z6	0.48 m³
Grand total: 24				399.19 m³

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 51:

Cuantificación con tablas de planificación, viga de cimentación

<3. Metrado Concreto Viga Cimentacion, f'c=280kg/cm2>				
A	B	C	D	E
Nivel Elemento	Elemento	Material: Name	Type	Material: Volume
Fundacion Cimenta	Viga Cimentacion	Viga Cimentacion F	VC 01	1.12 m³
Fundacion Cimenta	Viga Cimentacion	Viga Cimentacion F	VC 01	0.87 m³
Fundacion Cimenta	Viga Cimentacion	Viga Cimentacion F	VC 01	0.78 m³
Fundacion Cimenta	Viga Cimentacion	Viga Cimentacion F	VC 01	1.21 m³
Fundacion Cimenta	Viga Cimentacion	Viga Cimentacion F	VC 01	1.24 m³
Fundacion Cimenta	Viga Cimentacion	Viga Cimentacion F	VC 01	1.40 m³
Grand total: 6				6.61 m³

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 53:

Cuantificación con tablas de planificación, concreto en vigas-mezanine

<8. Metrado Concreto Viga, $f_c=280$ kg/cm ² , Mezanine>				
A	B	C	D	E
Nivel Elemento	Elemento	Material: Name	Type	Material: Volume
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.39 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.49 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.49 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.39 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.39 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.50 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.50 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.40 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.40 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.39 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.46 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.46 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.46 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.89 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.89 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.43 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.43 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.44 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.44 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V4 0.30x0.45	1.00 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V4 0.30x0.45	1.00 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.47 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.47 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V2 0.30x0.45	0.47 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V3 0.30x0.45	0.48 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V3 0.30x0.45	0.48 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V3 0.30x0.45	0.91 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V3 0.30x0.45	0.91 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.33 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V1 0.30x0.40	0.43 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V14 0.30x0.50	0.46 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	V14 0.30x0.50	0.46 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	VM1 0.40x0.60	1.45 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	VM1 0.40x0.60	1.45 m ³
Mezanine	Viga	Viga $F_c=280$ kg/cm ²	VM2 0.20x0.50	0.18 m ³
Grand total: 35				20.22 m ³

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 54:

Cuantificación con tablas de planificación, concreto en losa aligerada-mezanine

<9. Metrado Concreto Losa Aligerada, f'c=280 kg/cm2, Mezanine>						
A	B	C	D	E	F	G
Nivel Elemento	Elemento	Material: Name	Type	Material: Area	Coficiente	Volumen
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	13.28 m ²	0.0785	1.04 m ³
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	13.61 m ²	0.0785	1.07 m ³
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	10.92 m ²	0.0785	0.86 m ³
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	22.77 m ²	0.0785	1.79 m ³
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	11.08 m ²	0.0785	0.87 m ³
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	13.20 m ²	0.0785	1.04 m ³
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	25.53 m ²	0.0785	2.00 m ³
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	23.90 m ²	0.0785	1.88 m ³
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	12.39 m ²	0.0785	0.97 m ³
Mezanine	Losa Aligerada	Losa Aligerada Fc=280 kg/cm2	Losa Aligerada 0.20	23.42 m ²	0.0785	1.84 m ³
Grand total: 10						13.35 m ³

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

La gestión de información, mediante la automatización para cuantificación de materiales a partir de modelos BIM, es la mejor manera de gestionar información personalizada e intuitiva para los involucrados del proyecto.

Para la presente investigación se automatizó el área de encofrado y volumen de concreto de los elementos del modelo BIM. Asimismo, se generó una aplicación externa (Métrica-API de *Revit*) para extraer la información del modelo, además, se programó de acuerdo a los datos solicitados para lograr el objetivo del proyecto.

Al culminar la implementación de automatización, como aplicación externa, brinda las siguientes características: la extracción de información es en tiempo real, la tabla de planificación ya es configurada y programada de acuerdo al requerimiento, la facilidad de uso es intuitivo para que cualquier involucrado del proyecto pueda usarlo, la aplicación externa (Métrica-API de *Revit*) se puede compartir e instalar sin límite a cualquier dispositivo similar, no se puede vincular directamente con otras herramientas BIM, pero sí se puede exportar a un archivo editable (Excel o PDF).

Tabla 55:

Ventajas y desventajas de la Automatización

Automatización de cuantificación de materiales		
N.º	Características	Resultado
1	Eficiencia	
1.1	Tiempo de ejecución	Extracción de cómputos en tiempo real
2	Funcionalidad	
2.1	Funciones	La tabla de planificación ya es configurada y programada de acuerdo al requerimiento.
3	Facilidad de uso	
3.1	Facilidad de uso	Intuitivo
4	Portabilidad	
4.1	Portabilidad	Es portable el aplicativo sin límite de instalaciones.
5	Interoperabilidad	
5.1	Base de datos	No se puede vincular, pero sí puede manipular previa exportación a archivo editable.

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Gestionar información a partir de modelos virtuales en tiempo real es la solución más adecuada en proyectos BIM, es por ello que la automatización colabora en optimizar los recursos de tiempo.

Figura 66:

Resultado de cuantificación de materiales con automatización BIM

The screenshot displays the Autodesk Revit 2020 interface. The 'METRICA BUILDING' ribbon is active, with the 'Column Quantities' tool highlighted. Below the ribbon, a 3D model of a building structure is shown. The 'Material Quantities' dialog box is open, showing the following data:

Selection

- Fundacion Cimentacion
- Primer Nivel
- Mezanine

Concete Volume = 1102.38 m3

Formwork Area = 3817.86 m2

Result

	Id	Level	Elemento	Categoria	Nombre	Encofrado	Desencofrado
▶	223944	Fundacion Ci...	Solado	Structural Fou...	S-1	0	0
	224457	Fundacion Ci...	Solado	Structural Fou...	S-2	0	0
	225148	Fundacion Ci...	Solado	Structural Fou...	S-3	0	0
	229289	Fundacion Ci...	Solado	Structural Fou...	S-14	0	0
	229508	Fundacion Ci...	Solado	Structural Fou...	S-16	0	0

Export Excel

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 56:

Resultado de la automatización de metrado de concreto de losa aligerada en mezanine

Losa aligerada				
Partida:	1. Metrado concreto losa aligerada, f'c=280kg/cm2	Vol. concreto	13.36	
		Área encofrada	170.10	
Id	Level	Nombre	Encofrado	Concreto
417481	Mezanine	Losa aligerada	13.28	1.04
417609	Mezanine	Losa aligerada	13.61	1.07
417671	Mezanine	Losa aligerada	10.92	0.86
417743	Mezanine	Losa aligerada	22.77	1.79
417785	Mezanine	Losa aligerada	11.08	0.87
417857	Mezanine	Losa aligerada	13.20	1.04
418592	Mezanine	Losa aligerada	25.53	2.00
418632	Mezanine	Losa aligerada	23.9	1.88
418777	Mezanine	Losa aligerada	12.39	0.97
418819	Mezanine	Losa aligerada	23.42	1.84

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 57:

Resultado de la automatización de metrado de concreto de viga de cimentación

Viga de cimentación					
Partida:	1. Metrado Concreto Viga de Cimentación, f'c =280kg/cm2	Vol. concreto	6.62		
		Área encofrada	33.13		
Id	Level	Elemento	Nombre	Encofrado	Concreto
290558	Cimentación	Viga cimentación	VC 01	5.58	1.12
291220	Cimentación	Viga cimentación	VC 01	4.34	0.87
291809	Cimentación	Viga cimentación	VC 01	3.9	0.78
324437	Cimentación	Viga cimentación	VC 01	6.04	1.21
327023	Cimentación	Viga cimentación	VC 01	6.27	1.24
345178	Cimentación	Viga cimentación	VC 01	7	1.4

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla 58:

Resultado de la automatización de metrado de concreto de columna en mezanine

Columna					
Partida:	1. Metrado concreto columna, f'c=280 kg/cm2			Vol. concreto Área encofrada	18.97 195.15
Id	Level	Elemento	Nombre	Encofrado	Concreto
257020	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
257358	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
257473	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
257655	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
258482	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
258884	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
259796	Mezanine	Columna	C8	4.98	0.37
259838	Mezanine	Columna	C8	4.98	0.37
260822	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
260945	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
261147	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
261196	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
262952	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
263378	Mezanine	Columna	C13	6.83	0.61
272115	Mezanine	Columna	C12	7.28	0.68
273151	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
273659	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
273747	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
274362	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
274527	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
275265	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
276557	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
277004	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
277520	Mezanine	Columna	C8	5.46	0.41
278367	Mezanine	Columna	C9	10.92	1.46
278800	Mezanine	Columna	C3	14.56	2.18
279640	Mezanine	Columna	C9	10.92	1.46
279770	Mezanine	Columna	C9	10.92	1.46
279918	Mezanine	Columna	C3	14.56	2.18

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



Se concluyó la implementación de la automatización de gestión de información mediante la aplicación externa (Métrica-API de *Revit*), específicamente cuantificación de materiales de volumen de concreto y área de encofrado, para el primer caso de estudio (estructuras de contención) y para el segundo caso de estudio (componente estructural de la edificación).

Cada caso de estudio o cada tipo de proyecto requiere la implementación de automatización de gestión de información, de manera independiente, debido a que los parámetros asignados en cada uno de ellos van de acuerdo al propósito de cada proyecto. De manera tradicional requiere de recursos humanos para su configuración y solo son válidos para un solo proyecto.

Para iniciar un proyecto BIM es imprescindible implementar un plan de ejecución BIM, para así estandarizar y gestionar de manera ordenada el modelado virtual. Cada tipo de proyecto se debe implementar independientemente, debido a que los requerimientos asignados son diferentes para cada uno de ellos.

Para el primer caso de estudio, de estructuras de contención, la gestión de información se desarrolló de manera exitosa en la cuantificación de materiales. Uno de los inconvenientes fue la cuantificación de área encofrados en elementos de unión; sin embargo, la solución propuesta fue emplear herramientas de pintura. Con respecto a la metodología BIM, se observó deficiencias en la integración de especialidades debido a que cada una trabaja con diferentes softwares.

Para el segundo caso de estudio, del componente estructural de la edificación, la gestión de información a partir del modelo virtual fue parte de la metodología y se desarrolló de manera exitosa. La cuantificación de área de encofrado en elementos de unión también se soluciona con la herramienta pintura, excepto en elementos genéricos

(losas). La metodología BIM es ideal para proyectos de edificación debido a que las demás especialidades también se pueden adaptar al uso del mismo software.

Finalmente, se concluye que los resultados obtenidos de la cuantificación mediante tablas de planificación propios de Revit y la automatización con la Revit API son como se muestran a continuación:

Tabla 59:

Ventajas y desventajas de la Automatización y tablas de planificación (Autodesk Revit)

Ventajas y desventajas de Revit API y Autodesk Revit	
<i>Revit API</i>	<i>Autodesk Revit</i>
	
1. Eficiencia	
Extracción de cálculos en tiempo real.	Extracción de cálculos en tiempo real.
2. Funcionalidad	
La tabla de planificación ya está configurada y programada de acuerdo al requerimiento.	Manejable y flexible de tablas de planificación si, previo conocimiento intermedio de software.
3. Facilidad de uso	
El interfaz de usuario es intuitivo.	Requiere conocimientos intermedios avanzado del software.
4. Portabilidad	
Es portable el aplicativo sin límite de instalaciones.	Son propios del sistema, no es portable a otros dispositivos.
5. Interoperabilidad	
No se puede vincular, pero sí puede manipular previa exportación a archivo editable.	Se puede vincular con otros softwares BIM, conocimiento avanzado de <i>Revit</i> .

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



V. CONCLUSIONES

De la presente investigación se derivan las siguientes conclusiones:

La gestión de información de los elementos de modelado es un reporte de valor que permite optimizar flujos de trabajo en la gestión de información, esto debido al conjunto de tecnologías BIM. La información obtenida con la automatización personalizada de cuantificación de materiales de la especialidad de estructuras (volumen de concreto y área de encofrados) se obtiene en tiempo real. Y, la implantación de los aplicativos desarrollados en herramientas BIM solo requiere de conceptos básicos de modelado virtual, en cambio, su desarrollo necesita niveles de madurez avanzado en BIM.

- Al desarrollar el aplicativo denominado Métrica para cuantificación de materiales a partir de modelado 3D en *Autodesk Revit*, se puede evidenciar la eficiencia de la extracción en tiempo real; las tablas de planificación ya son configuradas y personalizadas de acuerdo al tipo de proyecto; la facilidad del uso de la interfaz de usuario es intuitiva; la portabilidad del aplicativo es no tiene límite de instalaciones a otros dispositivos; y la interoperabilidad no se puede vincular directamente, pero sí se puede exportar a archivo editable. El aplicativo se desarrolló de manera independiente para estructuras de contención de obra vial y componente estructural de la edificación
- En la inicialización y el desarrollo de proyectos BIM es imprescindible tener un plan de ejecución BIM (PEB) para controlar las estrategias, actividades, técnicas y estándares de modelado lo cual facilita la comunicación entre los responsables del proyecto. El PEB se desarrolló de manera independiente para estructuras de contención de la obra vial y componente estructural de la edificación. Las estructuras de contención no se integran de manera eficiente con otras especialidades debido a



que los integrantes trabajan con distintos softwares, en cambio, en el componente estructural de la edificación resulta eficiente.



VI. RECOMENDACIONES

El modelado virtual de la construcción no solo se utiliza para detectar interferencias entre especialidades, sino que la constante evolución de tecnologías BIM exige estandarizar los componentes de modelado para realizar una adecuada gestión de información en todos los niveles de desarrollo de proyectos BIM.

- Las tecnologías BIM están en constante evolución, el futuro del especialista BIM reside en investigar y desarrollar soluciones específicas. Las herramientas BIM son una realidad, aprender a desarrollar aplicativos basados sobre plataformas existentes de código abierto y son tan necesarias que todos deberían aprenderlas. La solución más eficiente en el área de encofrados de elementos de unión es un reto para todos los no programadores de programación orientada a objetos.
- En la actualidad, existen deficiencias en la estandarización del modelado de los elementos de proyectos BIM, esto genera controversia entre los responsables. Para futuros proyectos bajo esta metodología es de vital importancia el plan de ejecución BIM.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autodesk. (2019). *Revit Products*. AUTODESK.
<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-Revit-2019-products.html>
- Autodesk. (2020). *¿Qué es BIM?* AUTODESK.
<https://knowledge.autodesk.com/es/search-result/caas/simplecontent/content/%C2%BFqu%C3%A9-es-bim.html>
- Barco, D. (2018). *Guía para implementar y gestionar proyectos BIM*. Costos SAC.
- Braul, A., y Ríos, R. (2018). *Automatización en la elaboración del presupuesto y calendario valorizado a nivel de casco estructural en la etapa de licitación de un proyecto de edificación* [Trabajo de grado, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12106>
- BS:1192-4. (2014). *Collaborative production of information, Fulfilling employer's information exchange requirements using COBie – Code of practice*. BRITISH STANDARD.
- Huatuco, R. (2017). *Mejorando la Visualización y la Comunicación en el Last Planner System a Través del Uso de Modelos BIM*. [Trabajo de grado, para optar el título profesional de Ingeniero Civil]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9256>
- ISO: 19650-1. (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling* —. Suiza.



- ISO: 19650-2. (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling* —. Suiza.
- Laurina, R. (2009). *Evaluación de la seguridad vial a partir de la consistencia del trazado de la carretera*. [Trabajo de diploma]. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/5089>
- León, E. M., y Salazar, O. G. (2017). *Implementación del análisis de ingeniería de valor aplicado a proyectos inmobiliarios bajo la plataforma BIM en la fase de diseño*. [Trabajo de grado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas <http://hdl.handle.net/10757/623010>
- Miano, M. O. (2014). *Costos y presupuestos aplicado a la construcción de obras públicas y privadas*. Lima.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (12 de marzo de 2019). Reglamento de la Ley N° 30225, Ley de Contrataciones del Estado. Decreto Supremo N° 082-2019-EF. *Diario Oficial El Peruano*. <https://diariooficial.elperuano.pe/pdf/0022/tuo-ley-30225.pdf>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (8 de septiembre de 2019). DS N° 289-2019-EF. *Diario Oficial El Peruano*, pp. 6-7.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda urbana. (2018). BIM. *Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana-España*. <https://cbim.mitma.es/>
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda urbana. (2016) *¿Qué es BIM?* Ministerio de Fomento para la implantación de BIM, Madrid-España.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (17 de julio de 2019). Resolución Ministerial N° 242-2019-Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Diario Oficial El Peruano*.



- Muñoz, S. R., y Pardavé, H. M. (2018). *Metodología con herramientas BIM para optimizar la productividad de los procesos de planificación y ejecución del sistema de muros cortina stick*. [Trabajo de grado, para optar el título profesional de Ingeniero Civil]. Universidad San Martín de Porres. <http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/4175>
- Urbina, S. A., y Dueñas, S. D. (2018). *Programación de fase en proyectos repetitivos y no-repetitivos mediante líneas de flujo y modelos BIM*. [Trabajo de grado, para optar el título profesional de Ingeniero Civil]. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12003>



ANEXOS

- Matriz de consistencia
- Plan de ejecución BIM, componente estructural de muros de contención del proyecto vial.
- Plan de ejecución BIM, componente estructural del proyecto de edificación.