

Metodología para la integración de información de mantenimiento en modelos BIM de
edificaciones educativas.

Juan Manuel Avendaño Morales

Trabajo de Grado para Optar el Título de ingeniero civil

Director

Guillermo Mejía Aguilar

PhD en Ingeniería de la Construcción

Codirector

Johann Alberto Duque Mogollón

Ingeniero civil

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2025

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Objetivos.....	11
1.1 Objetivo General.....	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
2. Metodología	12
2.1 Revisión de literatura.	13
2.2 Identificar los requerimientos de información de mantenimiento del sistema arquitectónico para edificaciones educativas.....	15
2.3 Proponer un método de integración de la información de mantenimiento en un modelo BIM usando la herramienta Dynamo.	17
3. Resultados y Discusión.....	23
3.1 Requerimientos de información de mantenimiento del sistema arquitectónico para edificaciones educativas.....	23
3.2 Método de integración de la información de mantenimiento en un modelo BIM usando la herramienta Dynamo.....	31
Conclusiones.....	44
Recomendaciones	47
Referencias Bibliográficas	48
Apéndices.....	50

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Relación entre los objetivos del proyecto y los pasos de la metodología DBR.</i>	12
Tabla 2. <i>Parámetros definidos y organizados para los muros.</i>	25
Tabla 3. <i>Parámetros definidos y organizados para la impermeabilización.</i>	27
Tabla 4. <i>Parámetros definidos y organizados para la cubierta.</i>	27

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Análisis de datos obtenidos de la base Scopus</i>	13
Figura 2. <i>Numero de publicaciones de artículos por país</i>	14
Figura 3. <i>Logo de Dynamo</i>	17
Figura 4. <i>Ejemplo de cómo se ve un script en Dynamo</i>	18
Figura 5. <i>Ubicación de Dynamo en Revit</i>	18
Figura 6. <i>Icono de Parámetros de proyecto en Revit</i>	19
Figura 7. <i>Buscador de paquetes</i>	20
Figura 8. <i>Nodo encargado de la selección de elementos</i>	21
Figura 9. <i>Nodo encargado de exportar información</i>	21
Figura 10. <i>Nodo encargado de importar información</i>	22
Figura 11. <i>Explicación de la Interfaz de Dynamo</i>	23
Figura 12. <i>Parámetros de cada elemento (Awasho & Alemu, 2023; AXTER, 2024; Flores-Colen & De Brito, 2010)</i>	24
Figura 13. <i>Especificación de las 3 secciones de Plantilla de mantenimiento de muros en Excel</i>	29
Figura 14. <i>Lista desplegable de los parámetros (a) Muro Externo/ Interno (b) Cara Externa/Interna y (c) Estado Actual</i>	30
Figura 15. <i>Ventana propiedades de parámetro con la configuración necesaria para crear parámetros</i>	31
Figura 16. <i>Propiedades del elemento (muro), lugar donde se ubican los parámetros creados</i>	32

Figura 17. <i>Nombre de los paquetes que se instalaron.</i>	33
Figura 18. <i>Library, lugar donde se ubican los paquetes descargados.</i>	34
Figura 19. <i>Código para seleccionar elementos de un nivel o una vista.</i>	35
Figura 20. <i>Fragmento del código para selección de los muros de externos.</i>	36
Figura 21. <i>Fragmento del código en Dynamo para identificar los parámetros a exportar desde Revit hacia Excel.</i>	38
Figura 22. <i>Nodo para exportar a Excel.</i>	39
Figura 23. <i>Fragmento del código para importar desde Excel.</i>	41
Figura 24. <i>Propiedades de un muro, con los parámetros creados y la información proveniente de la plantilla.</i>	42

Lista de Apéndices

Apéndice A. Plantilla Mantenimiento.....	El apéndice está adjunto
Apéndice B. Arquitectónico.....	El apéndice está adjunto
Apéndice C. Estructural.....	El apéndice está adjunto
Apéndice D. Integración datos Muros.....	El apéndice está adjunto 50
Apéndice E. Integración datos Impermeabilización.....	El apéndice está adjunto
Apéndice F. Integración datos Cubierta.....	El apéndice está adjunto
Apéndice G. Proceso metodología integración información.....	El apéndice está adjunto

Resumen

Título: Metodología para la integración de información de mantenimiento en modelos BIM de edificaciones educativas.*

Autor: Juan Manuel Avendaño Morales **

Palabras Clave: Dynamo; BIM; interoperabilidad; mantenimiento; edificaciones educativas.

Descripción: Hoy en día se requieren metodologías para integrar datos de mantenimiento en modelos BIM de edificaciones educativas para optimizar la planificación de los costos de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo. El presente estudio analizó los procesos requeridos para el mantenimiento de muros, impermeabilización y cubierta del edificio Federico Mamitza Bayer de la Universidad Industrial de Santander, como caso de estudio para apoyar una investigación de posgrado, sobre interoperabilidad de los procesos de mantenimiento en edificaciones. Con base en una revisión de la literatura científica se logró determinar los parámetros necesarios de cada elemento, la creación de una plantilla en Excel para recolectar datos de mantenimiento pertinentes, y la implementación flujo de trabajo a través de la herramienta Dynamo. Esta herramienta permitió incorporar estos datos en un modelo BIM. Se crearon scripts específicos para elegir elementos del modelo, extraer su información a una plantilla y luego reinsertar datos procesados desde Excel al modelo de Revit, garantizando así la trazabilidad y organización de la información. En consecuencia, se logró un modelo BIM parametrizado con información de mantenimiento significativa, enriqueciendo la información geométrica de cada elemento del modelo. Este método permite estandarizar la recolección, estructuración y representación de la información, lo que es esencial para una organización eficaz del mantenimiento de una edificación. Se evidenció que la integración de esta información en los modelos BIM es viable, siempre y cuando se disponga de un modelo digital adecuadamente organizado y con criterios establecidos para la generación y administración de parámetros a medida. Además, se enfatiza la capacidad de herramientas visuales como Dynamo para simplificar estos procedimientos sin requerir habilidades avanzadas en programación.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. Doctor en gerencia de proyectos de construcción. Codirector: Johann Alberto Duque Mogollón. Estudiante de Maestría de Ingeniería Civil.

Abstract

Title: Methodology for integrating maintenance information into BIM models of educational buildings.*

Author: Juan Manuel Avendaño Morales**

Key Words: Dynamo; BIM; interoperability; maintenance; educational buildings.

Description: Nowadays, methodologies have emerged as a necessity to integrate maintenance data seamlessly within the BIM models of educational buildings. This integration is pivotal in optimizing maintenance cost planning, encompassing preventive and corrective measures. This study examined the processes involved in maintaining the walls, waterproofing, and roof of the Federico Mamitza Bayer building at the Universidad Industrial de Santander. This case study was conducted to support postgraduate research on the interoperability of maintenance processes in buildings. The study undertook a comprehensive review of the scientific literature to ascertain the requisite parameters for each element. Thereafter, an Excel template was developed to collect pertinent maintenance data systematically. Subsequently, workflow was implemented through the utilization of the Dynamo tool. This tool enabled the integration of the aforementioned data into a Building Information Modeling (BIM) framework. A series of specialized scripts were devised to select model elements, thereby extracting their pertinent information and subsequently inserting it into a template. Thereafter, the processed data from Excel is reinserted into the Revit model. This approach ensured the traceability and organization of the information, contributing to a more efficient and streamlined process. Consequently, a parameterized BIM model with substantial maintenance information was obtained, enriching each model element's geometric information. This method enables the standardization of the collection, structuring, and representation of information, which is imperative for the effective organization of building maintenance. Integrating this information into Building Information Modeling (BIM) models has been demonstrated to be feasible, contingent upon the existence of a meticulously organized digital model equipped with a set of criteria for the generation and management of customized parameters. Furthermore, the capacity of visual tools such as Dynamo to streamline these procedures without necessitating advanced programming proficiency is accentuated.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Guillermo Mejía Aguilar. PhD in construction project management. Co-director: Johann Alberto Duque Mogollón. Master's student of Civil Engineering.

Introducción

El mantenimiento de infraestructuras educativas es una labor esencial para asegurar entornos seguros, operativos y apropiados para el aprendizaje. Estas construcciones generalmente tienen un uso intensivo, ciclos de ocupación constantes y una amplia variedad de espacios y componentes constructivos que necesitan intervenciones regulares (Lateef, 2010). Sin embargo, en numerosas situaciones, las entidades no cuentan con sistemas eficaces para administrar la información vinculada a estas actividades, lo que resulta en mantenimientos a daños inesperados, planificación insuficiente y problemas en la toma de decisiones (Volk et al., 2014).

La implementación de modelos BIM se ha presentado como una opción para unificar y organizar la información del ciclo de vida de los activos físicos de una organización, representados en edificaciones. BIM no solo posibilita una representación en tres dimensiones del edificio, sino que también simplifica la inclusión de información pertinente como la relacionada con el mantenimiento, siempre que haya una metodología definida para realizarla (Aziz et al., 2016). No obstante, investigaciones recientes han evidenciado que la integración de datos de mantenimiento en modelos BIM aún se encuentra con obstáculos técnicos y metodológicos, en particular en lo concerniente a la determinación de parámetros apropiados, la estandarización de los datos y la interoperabilidad entre herramientas como Revit y Dynamo (Boje et al., 2020).

Esta investigación tiene como propósito desarrollar una metodología que permita integrar información de mantenimiento preventivo en modelos BIM, particularmente en edificaciones educativas. Estas requieren mantenimiento frecuente y están sujetas a patrones de uso intensivo. El presente estudio consideró analizar algunos componentes arquitectónicos más destacados de

las edificaciones, tales como muros, cubierta e impermeabilización. En este caso, la intervención relacionada con la impermeabilización se aplicará específicamente en los muros externos o perimetrales de la estructura. La metodología se organiza mediante la utilización de herramientas reconocidas y compatibles como Revit, Dynamo y Excel, lo que facilita su implementación en escenarios institucionales prácticos.

El presente artículo presenta y describe una metodología que se logró crear para recopilar información del mantenimiento y consignarla a un modelo digital en Revit, mediante una herramienta llamada Dynamo. Esta herramienta funciona como el intermediador y viene incorporada en el software Revit, ayudando a automatizar tareas, disminuyendo así, tiempos de trabajo y recursos que en la industria son bastante importantes.

Como producto de esta investigación, se creó una plantilla en Microsoft Excel enfocada en el registro ordenado de información de mantenimiento, junto con un conjunto de procesos automatizados a través de Dynamo, que simplifican la interacción entre esta plantilla y el modelo digital en Revit. Estos hallazgos facilitan una integración de la información más eficaz y serán expuestos y examinados en detalle en los apartados siguientes.

Es importante resaltar que este estudio es parte de una pasantía de investigación llevada a cabo dentro del proyecto de posgrado titulado "Estrategia de presupuestación del mantenimiento preventivo programado de edificaciones educativas mediante la metodología BIM", dirigido por el ingeniero Johann Duque, lo que permite alinear esta propuesta con una línea de investigación ya existente y aportar al progreso del saber en este campo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología con modelos BIM para integrar la información de mantenimiento preventivo programado en sistemas arquitectónicos de edificaciones.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar los requerimientos de información de mantenimiento del sistema arquitectónico para edificaciones educativas.

Proponer un método de integración de la información de mantenimiento en un modelo BIM usando la herramienta Dynamo.

2. Metodología

La presente investigación adoptó como metodología el Design-Based Research (DBR) para elaborar y confirmar la integración de información de mantenimiento en modelos BIM, siguiendo un enfoque iterativo que une teoría y práctica (Anderson¹ & Shattuck², 2003). La DBR es apropiada para problemas complejos en contextos educativos, pues fusiona la elaboración de soluciones teóricas con su evaluación en situaciones reales (Wang & Hannafin, 2005). Como se detalla en la Tabla 1, los objetivos del proyecto se alinearon con las fases de la DBR.

Tabla 1.

Relación entre los objetivos del proyecto y los pasos de la metodología DBR.

Objetivos del Proyecto	Pasos de la Metodología DBR
Propuesta de investigación	Explicar el problema
Identificar los requerimientos de información de mantenimiento del sistema arquitectónico para edificaciones educativas.	Definir los requerimientos del artefacto
Proponer un método de integración de la información de mantenimiento en un modelo BIM usando la herramienta Dynamo.	Diseñar y desarrollar el artefacto
	Demostrar el artefacto
Debido a las limitaciones de tiempo y alcance de esta investigación, este paso no se desarrolla.	Evaluar el artefacto

Nota. Elaboración propia.

Este proyecto se llevó a cabo en el edificio Federico Mamitza Bayer de la Universidad Industrial Santander en Bucaramanga, Colombia. La investigación se centró en la información requerida para el mantenimiento de muros, impermeabilización y cubierta, estos elementos hacen

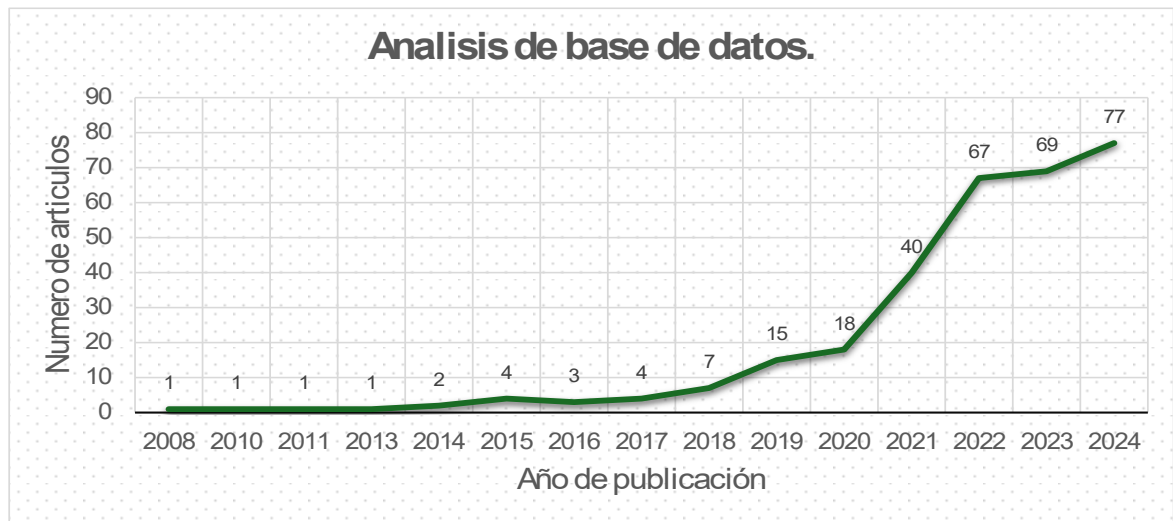
parte del sistema arquitectónico de la edificación educativa. Cabe aclarar que por investigaciones de trabajos de grados anteriores ya se cuenta con un diseño 3D o modelo Revit de la estructura.

2.1 Revisión de literatura.

Para la recopilación de la información se hizo una búsqueda literaria científica en la base de datos Scopus el día 11 del mes de septiembre del 2024. Se tuvo en cuenta palabras clave como: “BIM”, “Building Information Modeling”, “information integration”, "asset management", “Building”, “maintenance management”, con las cuales se realizó la ecuación de búsqueda: ("Building Information Modeling" OR "BIM") AND ("asset management" OR "maintenance management") AND (“information integration”) AND "Building". La búsqueda arrojó como resultado 310 artículos.

Figura 1.

Análisis de datos obtenidos de la base Scopus.



Nota. Elaboración propia.

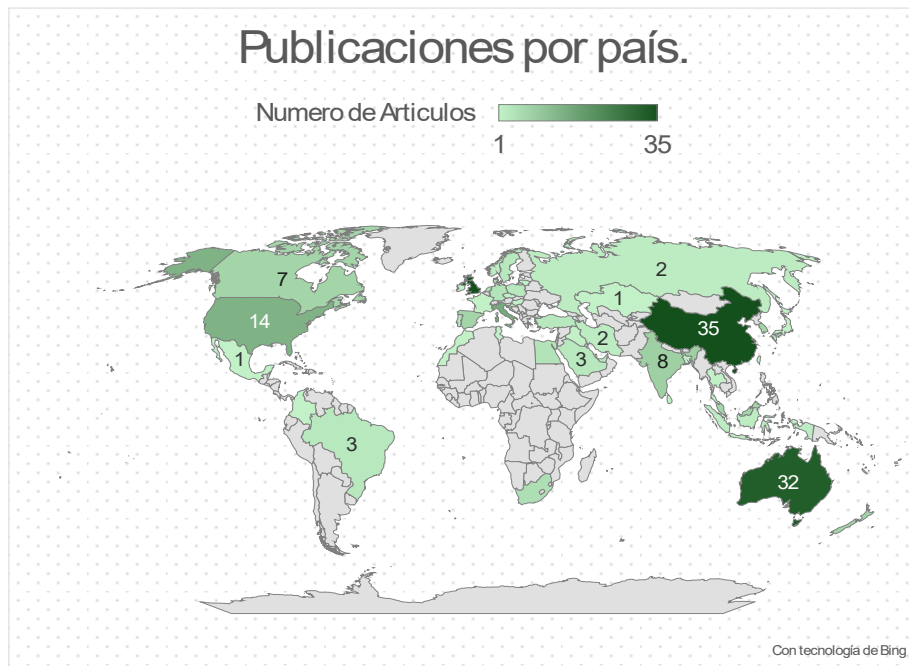
En la Figura 1. Se puede observar que antes del año 2018, no existía alto interés por la integración de la información o por la interoperabilidad entre sistemas relacionado con la etapa del mantenimiento. En el año 2021 se observa un punto de inflexión en la cantidad de

publicaciones, con un incremento significativo del 222 % en el número de artículos publicados en comparación con el año anterior. Y durante los tres últimos años más recientes se aprecia que es de interés encontrar la manera de integrar la información en un modelo BIM.

Se hizo una selección de artículos, basados en que alguna de las palabras clave se encontraran en el título, en el resumen o en la introducción, descartando así 46 artículos. En la Figura 2 se hace un análisis con 264 artículos, encontrando que los países con mayor elaboración en el tema de integración de información en modelos BIM son China, Reino Unido y Australia. El interés de estos países con gran infraestructura es un gran indicativo de que organizar la información de los modelos BIM es una solución para ayudar a las diferentes fases de un proyecto estructural.

Figura 2.

Numero de publicaciones de artículos por país.



Nota. Elaboración propia.

2.2 Identificar los requerimientos de información de mantenimiento del sistema arquitectónico para edificaciones educativas.

En esta sección se usó parte de la información recopilada en la sección 2.1 Revisión de literatura. (Revisión de literatura) para determinar que parámetros eran necesarios en la etapa de mantenimiento de muros, impermeabilización y cubierta. Se tuvo en cuenta dos fuentes para la selección de los parámetros: la investigación realizada en la literatura científica y un análisis de los parámetros que existen en el software Revit por defecto. La organización se realizó mediante una lista de parámetros por cada elemento (muros, impermeabilización y cubierta), lo cual nos permitió tener un amplio panorama.

Una vez determinados los parámetros necesarios para el mantenimiento, es esencial organizarlos de manera selectiva en función del tipo de elemento (muros, cubierta e impermeabilización). Esta categorización asegura un orden que simplifica la integración e intercambio de datos entre plataformas, como Excel y Revit. Además, durante este procedimiento es habitual encontrar parámetros que se repiten entre los distintos elementos, esto se debe a que algunos de estos desempeñan una función de identificación general, sin importar el tipo de componente al que se apliquen. Preservar esta estructura garantiza una mayor claridad y eficacia en la gestión de los datos.

Después de identificar los parámetros que se ajustaron a las necesidades de esta investigación, se utilizó Microsoft Excel para registrar, organizar y manipular toda la información. Microsoft Excel es un programa empleado en entornos técnicos y administrativos gracias a su adaptabilidad, sencillez de manejo y compatibilidad con otras aplicaciones. Entre sus mayores beneficios sobresale su habilidad para estructurar, examinar y representar de forma

eficaz grandes cantidades de información, lo que resulta crucial en procesos de decisión en ingeniería y administración de mantenimiento (Bakar et al., 2020). Además, su estructura fundamentada en hojas de cálculo posibilita la creación de plantillas personalizadas y flexibles para diversos contextos, simplificando la normalización de los datos y su integración posterior con otros sistemas, como instrumentos BIM o plataformas de análisis de datos (Dinesh Kumar, 2023).

Otro beneficio es que Excel es ampliamente utilizado por expertos de diferentes campos, lo que reduce los obstáculos de aprendizaje y potencia la cooperación interdisciplinaria (Noriega et al., 2006). Además, es compatible con Dynamo, la herramienta que se utilizó para integrar la información con el modelo digitalizado. En cuanto a la versión empleada, en esta investigación se trabajó con Microsoft Excel 365 MSO.

Con ayuda de Excel se hizo registro de los elementos y sus respectivos parámetros, como se explica a continuación:

Como el centro de esta investigación se basa en 3 elementos específicos, se hizo la creación de 3 hojas, uno para cada elemento. Se procede a realizar el formato en cada hoja comenzando con la creación de un encabezado, donde se registre la información básica o detalles del proyecto como, por ejemplo: nombre del proyecto, fecha, operario o encargado, ubicación, entre otros. Seguido de este paso en la fila se ubican los parámetros y en las subsiguientes se deja el espacio en blanco para que puedan ser diligenciado con la información en campo.

2.3 Proponer un método de integración de la información de mantenimiento en un modelo BIM usando la herramienta Dynamo.

Figura 3.

Logo de Dynamo.



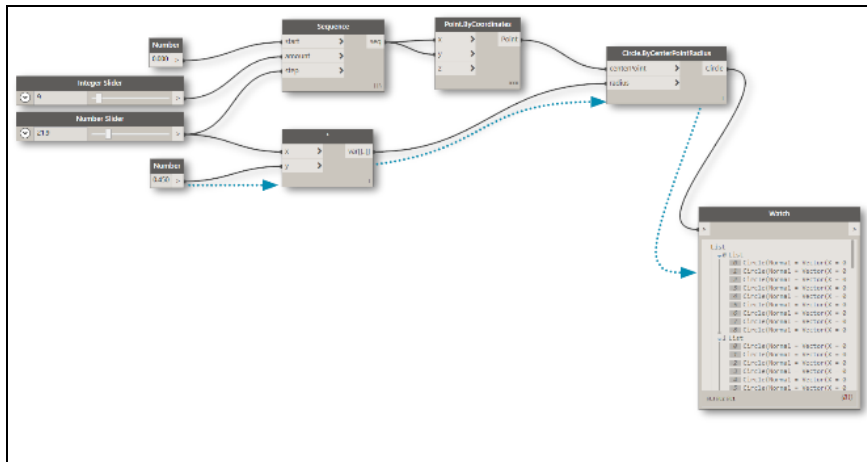
Nota. Tomado de Dynamo Primer. Disponible en: <https://primer.dynamobim.org/>

Dynamo es que es un instrumento de codificación visual incorporado en el programa de Autodesk, creado para potenciar las habilidades de los procesos de modelado de información para la construcción (BIM) (Silva et al., 2024). Funciona con una interfaz accesible en la que los usuarios construyen scripts a través de una representación gráfica, enlazando bloques de funciones de forma similar a un diagrama de flujo (Silva et al., 2024).

Un script es una serie de comandos redactados en un lenguaje de programación o de scripting (como Python, JavaScript o Bash) que se llevan a cabo de manera secuencial para automatizar tareas concretas dentro de un sistema (Belmonte Fernández, 2004). En Dynamo, un script se compone de cajones o nodos unido por flechas o líneas, tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.

Ejemplo de cómo se ve un script en Dynamo.



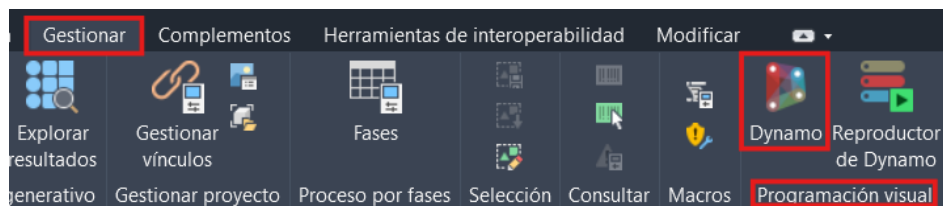
Nota. Fuente de Autodesk (2024). Recuperado de <https://dynamobim.org/>

Para mayor entendimiento de esta sección se va a explicar la metodología usada en 5 pasos, pero antes es preciso especificar que la versión de Revit que se usó fue Autodesk® Revit® 2024.3 y se utilizó el modelo digital de la edificación, elaborado previamente en Revit por una estudiante en el marco de la pasantía titulada “Metodología BIM para mantenimiento de edificaciones educativas” (Beleño, 2024).

Dicho trabajo, que forma parte de una línea de investigación vinculada al proyecto de posgrado “Estrategia de presupuestación del mantenimiento preventivo programado de edificaciones educativas mediante la metodología BIM”, sirvió como base para esta pasantía.

Figura 5.

Ubicación de Dynamo en Revit.



Nota. Elaboración propia.

La Figura 5 ilustra donde se encuentra la opción para abrir Dynamo, situada en la parte superior de la interfaz de Revit, en la sección “Gestionar”, dentro de la subsección “Programación visual”.

Pasos del método propuesto con Dynamo.

Paso 1: La creación de los parámetros en Revit: Es necesario realizar un ajuste en el modelo digital, lo cual implica la creación de los parámetros que se definieron en la sección 2.2. Para verificar que este paso se ha realizado correctamente, se debe comprobar que dichos parámetros aparezcan en la sección de propiedades de cada elemento (muros y cubierta).

Figura 6.

Icono de Parámetros de proyecto en Revit.



Nota. Elaboración propia.

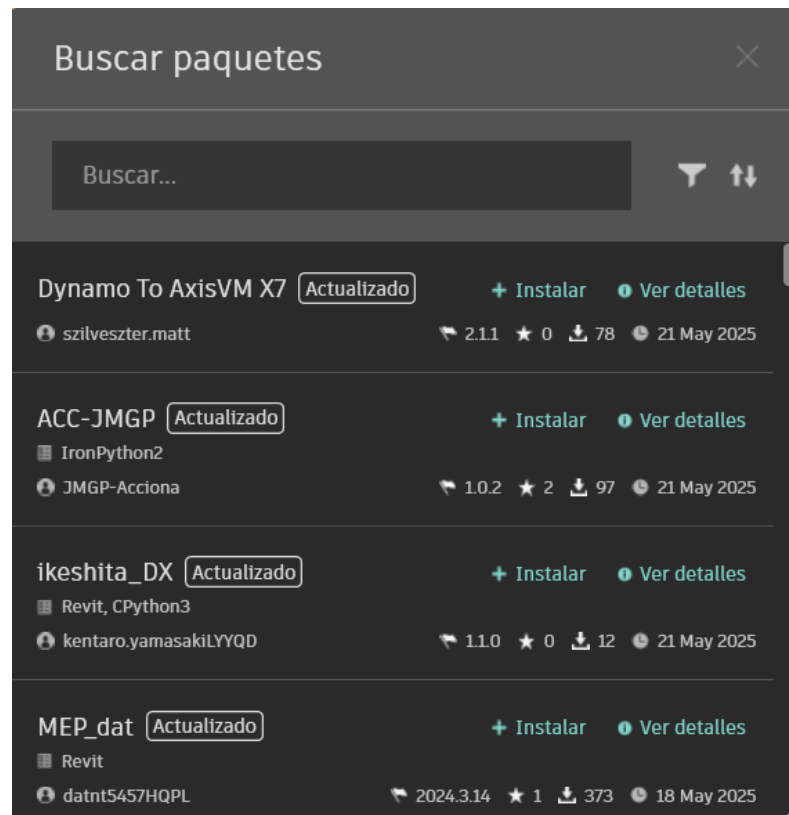
Además de la creación de los parámetros es importante conocer en Revit existen tipos de parámetros y para esta investigación son relevantes los parámetros tipo que son aquellos que afecta a todos los elementos del mismo tipo y los parámetros de instancia que son los que permiten personalizar por elemento individual.

Paso 2: Instalación de paquetes en Dynamo: Este paso implica la descarga e instalación de paquetes en Dynamo. Estos paquetes se componen de conjuntos de nodos personalizados, creados y compartidos por otros usuarios del software. Los nodos incluidos en estos paquetes se

basan en los que vienen por defecto en Dynamo, pero han sido modificados o ampliados para proporcionar funciones extra.

Figura 7.

Buscador de paquetes.

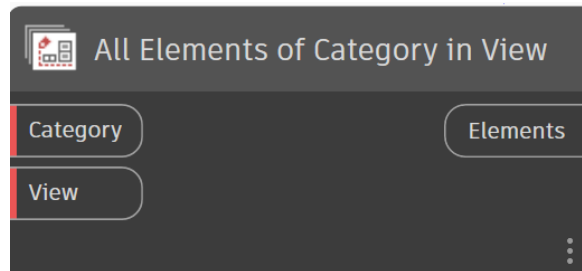


Nota. Elaboración propia.

Paso 3: Código de selección de elementos: en este apartado se realizó la creación de un código que ayuda a la selección de los elementos, el código es capaz de identificar los elementos de un nivel o de toda la estructura. Su principal ventaja es la capacidad de elegir varios elementos de forma masiva y rápida, ajustándose a las demandas del proyecto o usuario.

Figura 8.

Nodo encargado de la selección de elementos.

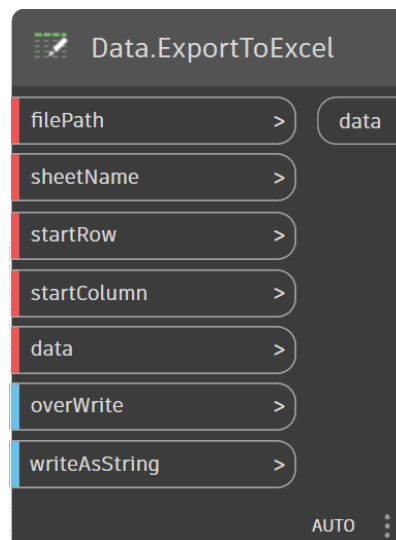


Nota. Elaboración propia.

Paso 4: Código-exportación de datos de Revit a Excel: se escribió un código para exportar información del modelo a la plantilla de Excel, la información a exportar es de ayuda para saber la identidad con la que el modelo está nombrando los elementos y al llevarlos a la plantilla se puede identificar con seguridad el elemento al cual se le quiere agregar información de campo.

Figura 9.

Nodo encargado de exportar información

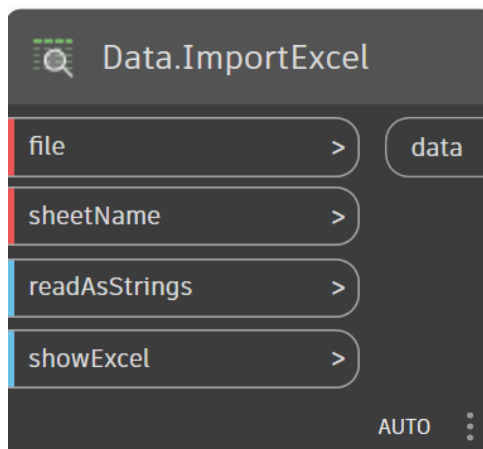


Nota. Elaboración propia.

Paso 5: Código-Importación de datos de Excel a Revit: se generó un código que importe la información de la plantilla a el modelo Revit. Una vez se tiene la plantilla diligenciada se puede hacer la actualización de los datos en el modelo digitalizado y es en este momento donde es necesario este código de importación.

Figura 10.

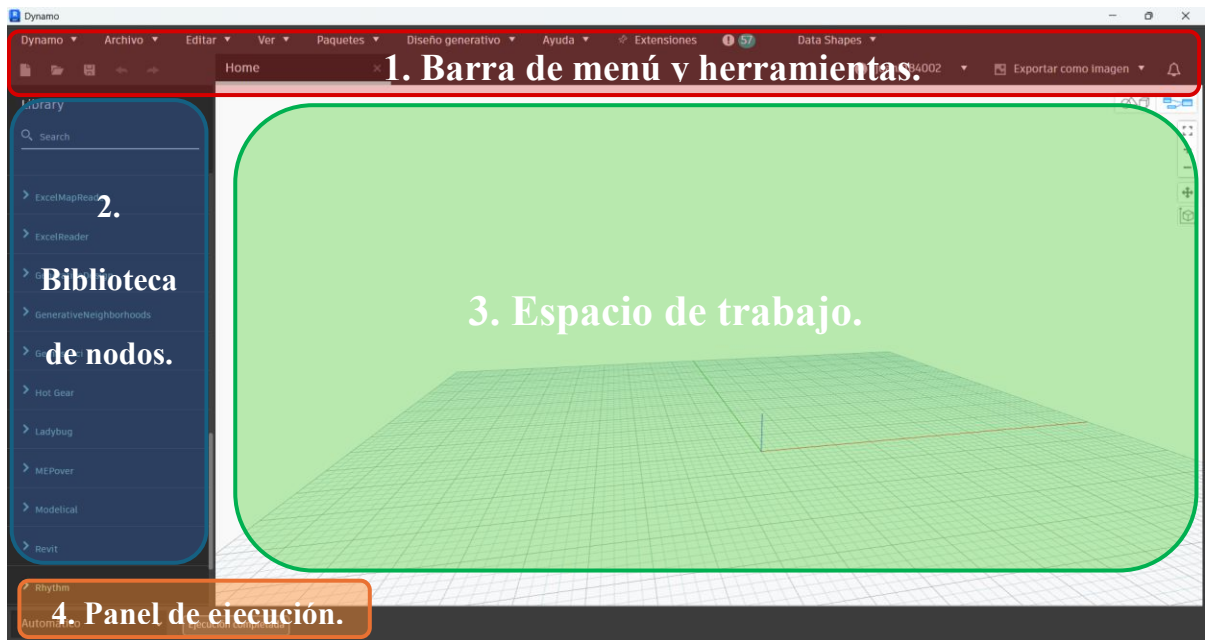
Nodo encargado de importar información.



Nota. Elaboración propia.

Por último, en la Figura 11 se hace una explicación de como se ve la interfaz de Dynamo y sus principales secciones. Para mayor entendimiento se dividió en 4 secciones nombrándolas en orden desde la parte superior a la inferior.

En la barra de herramientas (1. Barra de Menú y Herramientas) se encontrará el menú principal como archivo, editar, ver, paquetes, así como accesos directos como guardar, deshacer o rehacer y cambiar de pestaña. La biblioteca (2. Biblioteca de Nodos) ubicada en la parte izquierda de la interfaz recopila todos los paquetes descargados. En el centro y de mayor tamaño se encuentra el espacio de trabajo (3. Espacio de Trabajo) donde se construyen los scripts de Dynamo. La última sección es el panel de ejecución (4. Panel de Ejecución.) el cual permite cambiar entre ejecución automática o manual, y muestra el estado de la ejecución actual.

Figura 11.*Explicación de la Interfaz de Dynamo.*

Nota. Elaboración propia.

3. Resultados y Discusión

3.1 Requerimientos de información de mantenimiento del sistema arquitectónico para edificaciones educativas.

Como resultado de la revisión a la literatura científica y el estudio de los parámetros presentes en Revit, se consiguió identificar y escoger un grupo de parámetros relevantes para el mantenimiento de los elementos arquitectónicos establecidos: muros, cubierta e impermeabilización, los cuales se pueden observar en la Figura 12.

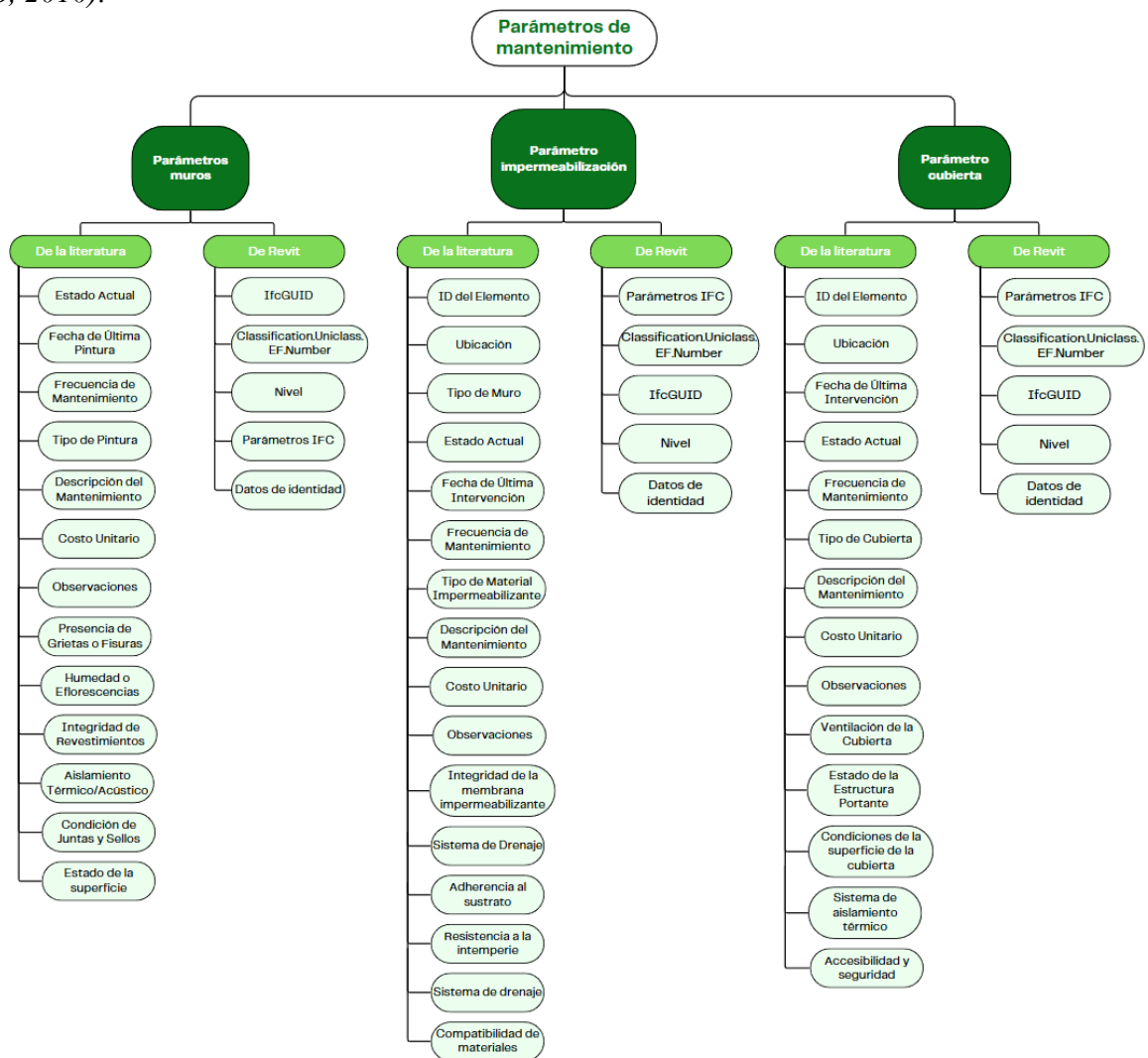
Como se aprecia en la Figura 12 la categorización por tipo de elemento facilitó un enfoque ordenado, eliminando la duplicidad innecesaria de información y permitiendo la reutilización de parámetros transversales (como “Estado Actual”, “Costo Unitario” o

“Frecuencia de Mantenimiento”), que fueron reconocidos como comunes entre los tres elementos del sistema arquitectónico.

Una vez identificados los parámetros es necesario hacer una selección que se ajuste a las necesidades de la edificación en estudio. La selección de parámetros respondió a criterios que aportan información útil y necesaria para las labores de mantenimiento en edificaciones, posibilidad de integración digital y disponibilidad en entornos BIM.

Figura 12.

Parámetros de cada elemento (Awasho & Alemu, 2023; AXTER, 2024; Flores-Colen & De Brito, 2010).



Nota. Elaboración propia.

Los parámetros definidos para los **muros** facilitan la recolección de información esencial vinculada con el estado físico del elemento, su historial de mantenimiento y las características del material utilizado. Parámetros como el *Estado Actual*, la *Fecha de Última Pintura*, la *Frecuencia de Mantenimiento* y el *Tipo de Pintura* son cruciales para definir ciclos de conservación eficaces e identificar indicios de deterioro de manera oportuna. La incorporación del parámetro *Observaciones* facilita la anotación de condiciones específicas que podrían influir en el rendimiento del muro, tales como la humedad o fisuras perceptibles.

Adicionalmente, se agregaron parámetros destinados a facilitar la identificación del muro dentro del modelo digital, como el *IfcGUID (Global Unique Identifier)*, el *Nivel*, *Muro Externo/Interno*, *Cara Interna/externa*, el número *UNICLASS* y el *Tipo de Muro* (ver Tabla 2). Estos parámetros provienen de Revit y están disponibles por defecto.

Tabla 2.

Parámetros definidos y organizados para los muros.

Parámetros muros
IfcGUID
UNICLASS
Nivel
Tipo de Muro
Muro Externo/ Interno
Cara Externa/Interna
Estado Actual
Fecha de Última Pintura
Frecuencia de Mantenimiento
Tipo de Pintura
Descripción del Mantenimiento
Costo Unitario
Observaciones

Nota. Elaboración propia.

La distinción entre muros internos y externos es importante en el contexto operativo, pues facilita al equipo responsable del mantenimiento determinar si la intervención debe llevarse a cabo en una superficie perimetral (muro externo) o en una sección interna, como las que se encuentran en pasillos o salones. Además, considerando que cada muro cuenta con dos caras, se habilitó la posibilidad de que el trabajador pueda determinar si el mantenimiento corresponde a la cara interna o externa del elemento, dando así mayor precisión al registro. Además, investigaciones como la realizada por (Liyanage et al., 2024) han enfatizado que una documentación organizada del estado de los muros es crucial para la toma de decisiones en intervenciones de bajo costo y gran impacto en edificaciones educativas.

La **impermeabilización** desempeña un rol crucial en la protección de la infraestructura contra elementos externos como la humedad, que puede poner en riesgo la salud estructural y el confort interno. Para su control, se definieron parámetros como *IfcGUID*, *Nivel* y *Tipo de Muro*, que permiten identificar con precisión el elemento afectado o en estudio, asegurando que la información de mantenimiento se anote en los muros correctos, en especial los que se ubican en el perímetro de la edificación, donde generalmente se realizan los tratamientos de impermeabilización. Además, se incluyeron los parámetros *Estado Actual_Imper*, *Tipo de Impermeabilizante*, *Fecha de Última Pintura_Imper*, *Frecuencia de Mantenimiento_Imper*, *Descripción del Mantenimiento_Imper*, *Costo Unitario_Imper* y *Observaciones_Imper* (ver Tabla 3.). Aunque estos factores también fueron tomados en cuenta en el estudio de muros, conservan su relevancia para esta categoría, dado que facilitan el control de la aplicación de los tratamientos impermeabilizantes y la evaluación de su eficacia a través del tiempo. A estos parámetros se les hizo un ajuste al agregarle al final una referencia (*_Imper*) para que indique que se habla de parámetros de impermeabilización.

Tabla 3.

Parámetros definidos y organizados para la impermeabilización.

Parámetros impermeabilización
IfcGUID
Nivel
Tipo de Muro
Estado Actual_Imper
Tipo de impermeabilizante
Fecha de Última Pintura_Imper
Frecuencia de Mantenimiento_Imper
Descripción del Mantenimiento_Imper
Costo Unitario_Imper
Observaciones_Imper

Nota. Elaboración propia.

Para la **cubierta**, se establecieron parámetros destinados a registrar la condición de la superficie expuesta, su composición y las medidas de mantenimiento implementadas. Parámetros como *IfcGUID*, *Nivel*, *Estado Actual*, *Tipo de Material*, *Tipo de Pintura*, *Fecha de Última Pintura*, *Frecuencia de Mantenimiento*, *Descripción del Mantenimiento*, *Costo Unitario* y *Observaciones* (ver Tabla 4), ofrecen un fundamento sólido para valorar la eficacia de la cubierta como barrera de defensa contra factores climáticos.

Tabla 4.

Parámetros definidos y organizados para la cubierta.

Parámetros cubierta
IfcGUID
Nivel
Tipo de Material
Tipo de Pintura

Estado Actual
Fecha de Última Pintura
Frecuencia de Mantenimiento
Descripción del Mantenimiento
Costo Unitario
Observaciones

Nota. Elaboración propia.

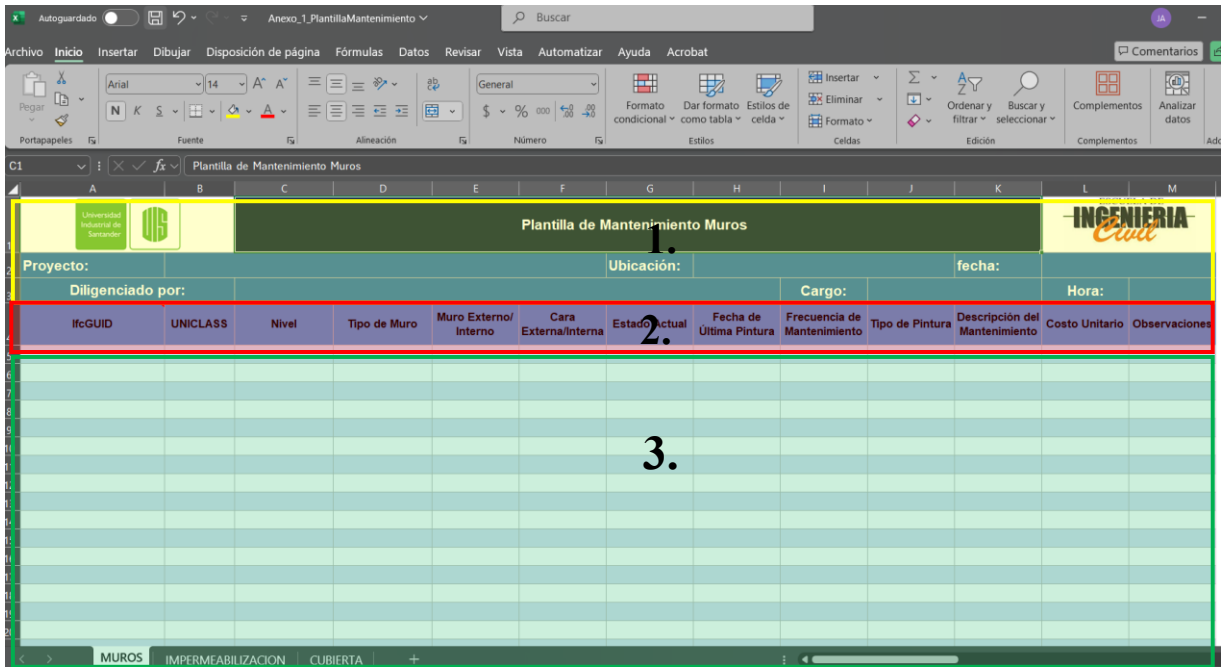
Para cada tipo de elemento se creó una plantilla autónoma en Excel, es decir se creó una primera hoja denominada “Muros”, y posteriormente se insertaron dos hojas adicionales tituladas “Impermeabilización” y “Cubierta”, respectivamente. La plantilla está formada por tres partes fundamentales:

1. **Encabezado general del documento**, donde se registran datos básicos del proyecto (nombre, ubicación, fecha, operario responsable, etc.).
2. **Fila de encabezado de parámetros**, que incluye los campos seleccionados para ser diligenciados.
3. **Filas de datos**, dispuestas para el ingreso de la información recolectada en campo.

Para poderlo asimilar mejor en la Figura 13. se puede observar cómo se ubicó el encabezado que va de la fila “1” hasta la fila 3, entre la columna “A” y “M”. Después en la fila “4” se escribieron los parámetros definidos para muros y de la fila “5” en adelante se dejan las celdas en blanco para ser diligenciadas y registrar la información de mantenimiento. Ver anexo 1, para más detalles.

Figura 13.

Especificación de las 3 secciones de Plantilla de mantenimiento de muros en Excel.



Nota. Elaboración propia.

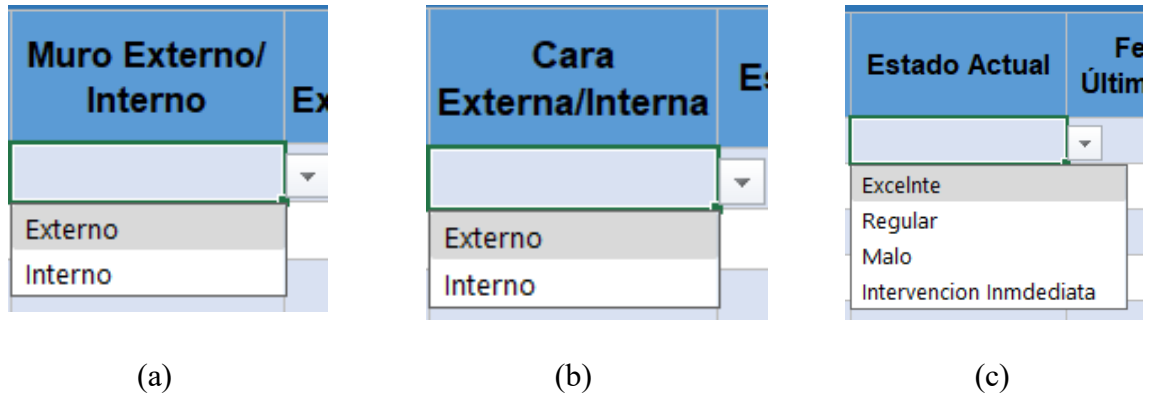
Una vez organizada la plantilla, los parámetros fueron ubicados en la fila correspondiente en cada hoja. A continuación, se describen los ajustes realizados:

- Plantilla de Muros: El orden en el que se ubicaron los parámetros fue: *IfcGUID* (*Global Unique Identifier*), el número *UNICLASS*, el *Nivel*, el *Tipo de Muro*, *Muro Externo/Interno*, *Cara Externa/Interna*, el *Estado Actual*, la *Fecha de Última Pintura*, la *Frecuencia de Mantenimiento*, el *Tipo de Pintura*, *Descripción del Mantenimiento*, *Costo Unitario* y *Observaciones*. En la celda de *IfcGUID* se agregó una nota aclaratoria sobre el significado de este identificador único.
En las celdas debajo de los parámetros *Muro Externo/ Interno*, *Cara Externa/Interna* y

Estado Actual, donde se registra la información, se les creó una lista desplegable tal como se muestra en la Figura 14.

Figura 14.

Lista desplegable de los parámetros (a) Muro Externo/ Interno (b) Cara Externa/Interna y (c) Estado Actual.



Nota. Elaboración propia.

Con esta configuración en las celdas se busca que la información sea registrada de forma acertada y sin ambigüedades. También para que facilite el diligenciamiento por parte del operador.

- Plantilla de impermeabilización: los parámetros se ubicaron de la siguiente manera: *IfcGUID*, *Nivel*, *Tipo de Muro*, *Estado Actual_Imper*, *Tipo de impermeabilizante*, *Fecha de Última Pintura_Imper*, *Frecuencia de Mantenimiento_Imper*, *Descripción del Mantenimiento_Imper*, *Costo Unitario_Imper* y *Observaciones_Imper*. Al igual que en la plantilla anterior, se creó una lista desplegable para el campo *Estado Actual*.
- Plantilla de cubierta: la ubicación de los parámetros en la plantilla, de izquierda a derecha fue el siguiente: *IfcGUID*, *Nivel*, *Tipo de Material*, *Tipo de Pintura*, *Estado Actual*, *Fecha de Última Pintura*, *Frecuencia de Mantenimiento*, *Descripción del Mantenimiento*, *Costo Unitario* y *Observaciones*. En la columna que pretendí a “*Estado Actual*” se hizo la edición para tener una lista despegable con las opciones: excelente, regular, malo e intervención inmediata.

Para una visualización completa de las plantillas, consultar el Anexo 1.

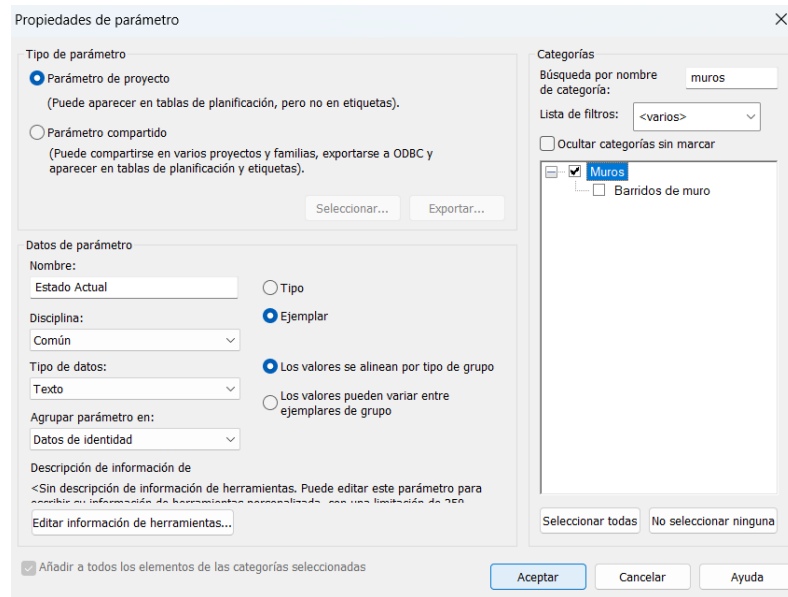
3.2 Método de integración de la información de mantenimiento en un modelo BIM usando la herramienta Dynamo.

Paso 1: La creación de los parámetros en Revit:

Luego de definir los parámetros, se procedió a su incorporación en el modelo digital mediante la creación de parámetros de proyecto en Autodesk® Revit®. Para esto, se utilizó la ruta Gestionar > Parámetros de proyecto > Añadir parámetro. En la ventana “Propiedades de parámetro” se configuraron como parámetros de tipo ejemplar, vinculados a las categorías muros y cubierta, dependiendo del caso, como se puede apreciar en la Figura 15.

Figura 15.

Ventana propiedades de parámetro con la configuración necesaria para crear parámetros.



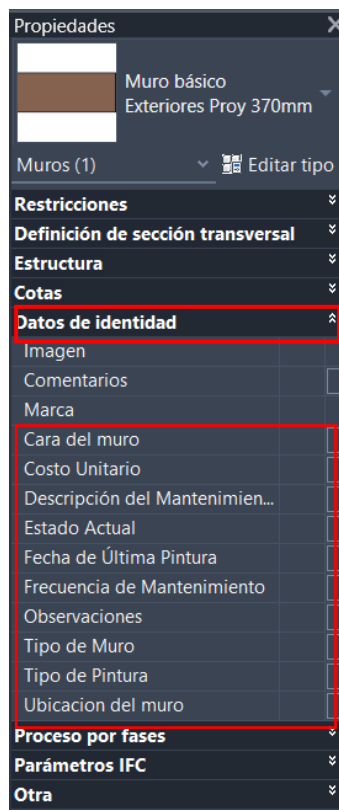
Nota. Elaboración propia.

Se definió como tipo de dato general el formato texto, excepto para el parámetro “Costo unitario”, que requirió el tipo de dato número. Además, se clasificaron bajo los grupos “Datos de identidad” para muros y cubierta u “Otra” para impermeabilización según el elemento. Todos los

parámetros fueron creados desde cero, sin modificar parámetros preexistentes. Como validación, se seleccionaron elementos del modelo para verificar que los parámetros aparecieran correctamente en la sección de propiedades, lo cual confirmó su incorporación exitosa. En la figura se puede observar cómo se ven los parámetros creados.

Figura 16.

Propiedades del elemento (muro), lugar donde se ubican los parámetros creados.



Nota. Elaboración propia.

Paso 2: Instalación de paquetes en Dynamo:

Una vez realizado el ajuste inicial del modelo mediante la creación de parámetros personalizados, se procedió con la instalación de paquetes complementarios en Dynamo, los cuales son necesarios para ampliar las funcionalidades disponibles por defecto en el entorno de programación visual. El procedimiento se llevó a cabo accediendo al menú superior de Dynamo,

específicamente en la ruta Paquetes > Buscar paquetes, desde donde se descargaron e instalaron los que se muestran en la Figura 17.:

Figura 17.

Nombre de los paquetes que se instalaron.

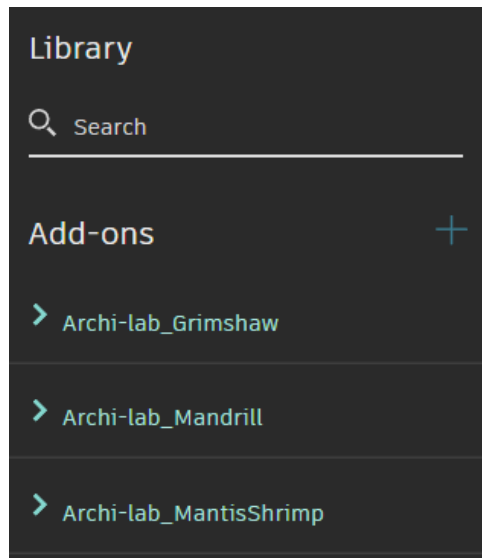


Nota. Elaboración propia.

Si bien no se utilizó cada uno de estos paquetes de forma directa, se sugiere contar con un entorno amplio de nodos para facilitar futuras automatizaciones. Finalmente, se confirmó que todos los instalados aparecían correctamente listados en la sección Library > Add-ons (véase la Figura 18) del entorno de Dynamo. Todo este proceso se llevó a cabo utilizando la versión Dynamo v.2.19.3 (© 2023 Autodesk, Inc.).

Figura 18.

Library, lugar donde se ubican los paquetes descargados.



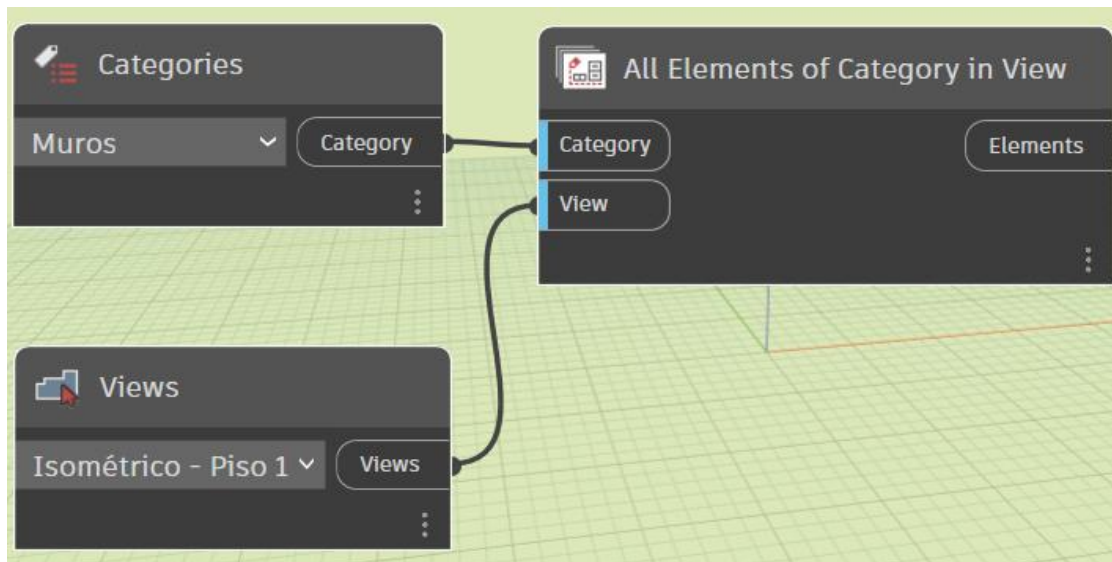
Nota. Elaboración propia.

Paso 3: Código de selección de elementos:

Una vez instalados los paquetes necesarios, se llevó a cabo la creación de los flujos para la selección de elementos del modelo. Para ello, se crearon tres scripts independientes, uno para cada elemento: muros, cubierta e impermeabilización. Para muros, se utilizaron los nodos Categories, Views y All Elements of Category in View, lo cual permitió seleccionar únicamente los muros visibles en una vista de nivel específica (primer, segundo o tercer piso). Esto evitó seleccionar muros de otros niveles, mejorando la precisión del proceso. Para la cubierta, la lógica fue similar, pero se usó una vista en 3D, ya que este elemento se visualiza de forma más completa en esa perspectiva. La selección también se realizó a través del nodo All Elements of Category in View, apuntando específicamente a la categoría “Cubiertas”.

Figura 19.

Código para seleccionar elementos de un nivel o una vista.

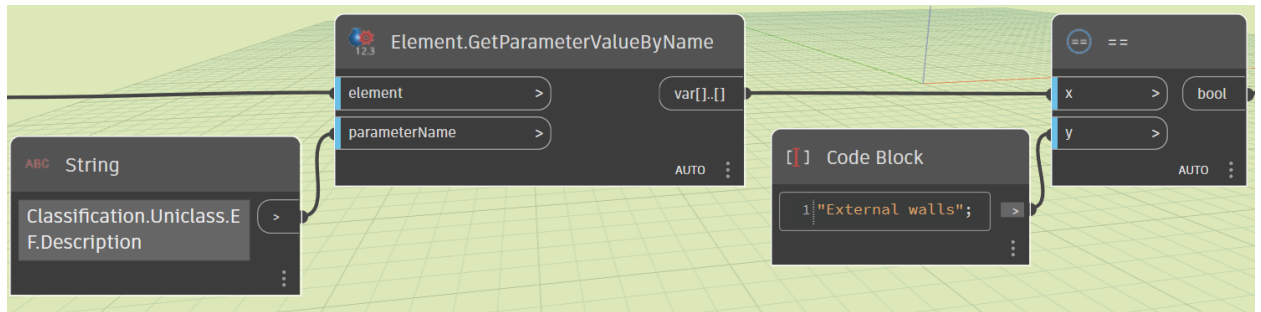


Nota. Elaboración propia.

En el caso de la impermeabilización, la selección fue más compleja. Aunque se partió también de la categoría muros, se emplearon los nodos `Element.ElementType`, `Element.GetParameterValueByName`, `Code Block`, `==`, `List.FilterByBoolMask`. Se aplicó un filtro adicional usando el parámetro "Classification.Uniclass.EF.Description", basado en el sistema de clasificación Uniclass 2015. Este parámetro fue usado en combinación con un `Code Block` que contenía la palabra clave "External Wall" (ver Figura 20.). Este enfoque se basó en el uso del clasificador Uniclass 2015, el cual fue adoptado con ligeras adaptaciones a partir del artículo "Metodología BIM para mantenimiento de edificaciones educativas", producto de una pasantía previa realizada en el marco del proyecto de posgrado "Estrategia de presupuestación del mantenimiento preventivo programado de edificaciones educativas mediante la metodología BIM".

Figura 20.

Fragmento del código para selección de los muros de externos.



Nota. Elaboración propia.

La implementación de estos códigos de selección en Dynamo representó una mejora significativa en términos de eficiencia, ya que permitió seleccionar múltiples elementos de forma automática, reduciendo el tiempo invertido y minimizando errores humanos propios de la selección manual en Revit.

Finalmente, se validó que los elementos estuvieran correctamente seleccionados mediante la visualización directa en el modelo de Revit y el uso de nodos como Watch. En el caso de muros, también se aprovechó la visualización de los IDs de los elementos obtenidos, accediendo a ellos mediante All Elements of Category y verificando su correspondencia directa con los objetos del modelo. Cabe resaltar que, en la parte inferior de Dynamo, se encuentra la opción que permite definir cómo se ejecutará el código. Para esta investigación se optó por el modo manual, lo cual permitió tener un mayor control sobre el momento de ejecución y evitar resultados inesperados mientras se construía el flujo.

Para una mejor visualización del flujo y coherencia con lo explicado anteriormente, se puede dirigir al Apéndice D, Apéndice E o Apéndice F, en el recuadro verde que se titula “Selección de elementos de un nivel específico.”.

Paso 4: Código-exportación de datos de Revit a Excel:

Para realizar la identificación precisa de los elementos a los cuales se les incorporaría información de mantenimiento, se desarrolló un código en Dynamo que permitió exportar parámetros del modelo BIM hacia la plantilla (Apéndice A) en Excel.

En el caso de los muros, se extrajeron los parámetros IfcGUID, Classification.Uniclass.EF.Number, Restricción de base y tipo de muro como se puede observar en la Figura 21. Esta información se organizó en la plantilla bajo los parámetros "*IfcGUID*", "*UNICLASS*", "*Nivel*" y "*Tipo de muro*". Para la impermeabilización y la cubierta, se exportaron los mismos datos, a excepción de la clasificación Uniclass, ya que no era necesario para elementos. El motivo de esta elección se basa en que estos parámetros, en particular el identificador único (IfcGUID), el nivel y el tipo, facilitan ubicar y reconocer con certeza los elementos en el entorno real, asegurando que la información recolectada en campo corresponda a los elementos adecuados del modelo.

Figura 21.

Fragmento del código en Dynamo para identificar los parámetros a exportar desde Revit hacia Excel.



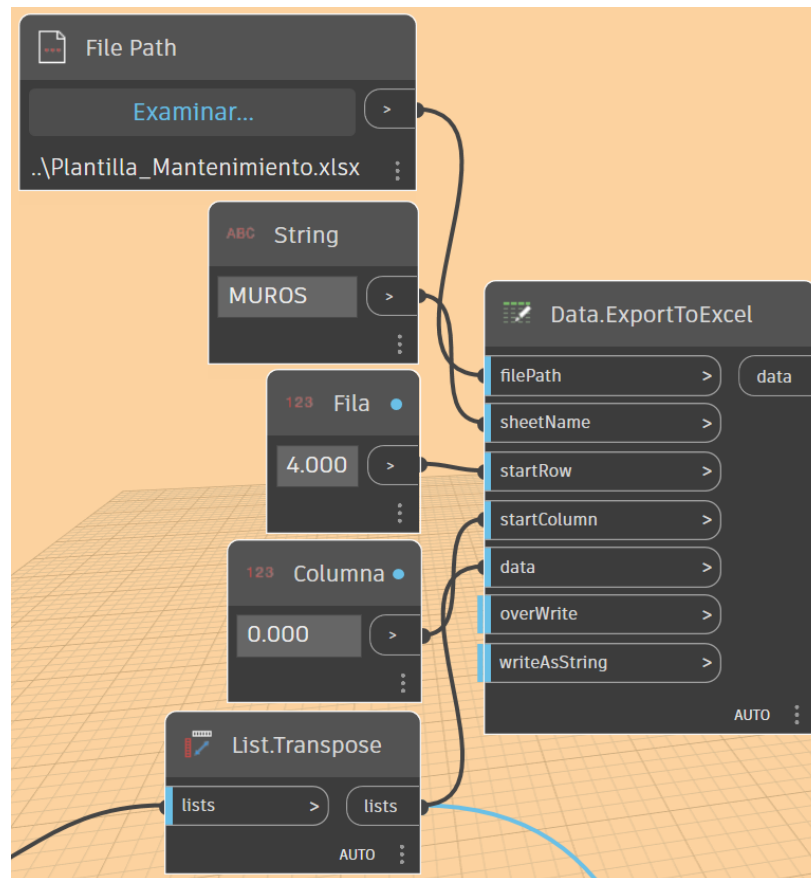
Nota. Elaboración propia.

El flujo para esta tarea incluyó los nodos: `Element.GetParameterValueByName`, `Element.ElementType`, `Element.Name`, `List.Flatten`, `List.Create`, `List.Transpose`, `Data.ExportToExcel`, `File Path`, `Watch` y `Number`. Es importante aclarar que adicional a estos nodos están como base los que se usaron en el paso 3 ya que la selección de elementos es fundamental. Este conjunto de nodos se aplicó en los tres scripts creados anteriormente (uno para muros, otro para impermeabilización y uno más para cubiertas), con ligeras variaciones entre ellos dependiendo de los parámetros requeridos.

El nodo `Data.ExportToExcel` fue configurado utilizando un nodo llamado `File Path`, el cual direccionaba a la ubicación de la plantilla en la carpeta de se encuentre en el computador. Los datos se escribieron en hojas específicas del Apéndice A ("MUROS", "IMPERMEABILIZACIÓN" y "CUBIERTA"), sobrescribiendo la información automáticamente con cada ejecución del script. El punto de inicio para escribir la información fue la celda ubicada en la columna 0 y fila 4 de cada hoja, que corresponde a la celda A5 en Excel. La ubicación fue seleccionada estratégicamente para alinear la información exportada con el diseño estructurado de la plantilla. Para poder ver mejor como se usó el nodo ver la Figura 22.

Figura 22.

Nodo para exportar a Excel.



Nota. Elaboración propia.

En la hoja de Muros se llenaron las columnas A, B, C y D con los parámetros ya mencionados, mientras que en las hojas de Impermeabilización y Cubierta se registró la información en las columnas A, B y C. Cabe aclarar que, se exportó información de dos categorías (muros y cubiertas) y la plantilla (Apéndice A) contiene tres hojas, ya que la impermeabilización se aplica únicamente sobre muros externos.

La validación del éxito de la exportación se realizó, comparando el número de elementos listados en el nodo All Elements of Category in View con la cantidad de registros en la hoja de Excel. Esta revisión permitió corroborar que todos los elementos previstos fueron efectivamente trasladados a la plantilla.

Para una mejor visualización del flujo y coherencia con lo explicado anteriormente, se puede dirigir al Apéndice D, Apéndice E o Apéndice F, en el recuadro naranja que se titula “Exportar información a Plantilla Excel”.

Paso 5: Código-Importación de datos de Excel a Revit:

Una vez diligenciada la plantilla de mantenimiento en Excel con datos de prueba, diseñados para validar el flujo de trabajo, se procedió a actualizar la información del modelo BIM mediante un flujo en Dynamo. Este código permitió importar los datos a los parámetros de cada elemento del modelo Revit, asegurando la sincronización entre la plantilla y el modelo digital.

El flujo comienza con el nodo `Data.ImportExcel`, el cual permite cargar el contenido de la hoja de cálculo. Posteriormente, se utilizaron nodos como `List.RemoveItemAtIndex` y `List.Clean` para depurar la información y quitar las filas iniciales que contenían encabezados o poco relevantes en esta para este paso. A continuación, el nodo `List.Transpose` reorganizó la estructura

de la lista, convirtiendo las filas en columnas, esto facilitó la separación de la información por parámetro. Para una mejor comprensión de esta parte se muestra la

Figura 23. en la cual se pueden apreciar uso de nodos mencionados.

Figura 23.

Fragmento del código para importar desde Excel.



Nota. Elaboración propia.

Cada columna de datos fue asociada a un nodo `Element.SetParameterByName`, lo que permitió la actualización de la información correspondiente en los parámetros de proyecto creados previamente en la sección 3.1 Requerimientos de información de mantenimiento del sistema arquitectónico para edificaciones educativas.. La asignación se realizó mediante nodos de texto (String) que coincidían exactamente con el nombre de cada parámetro en Revit, lo cual resultó esencial, ya que cualquier diferencia ortográfica impedía la correcta escritura de los datos.

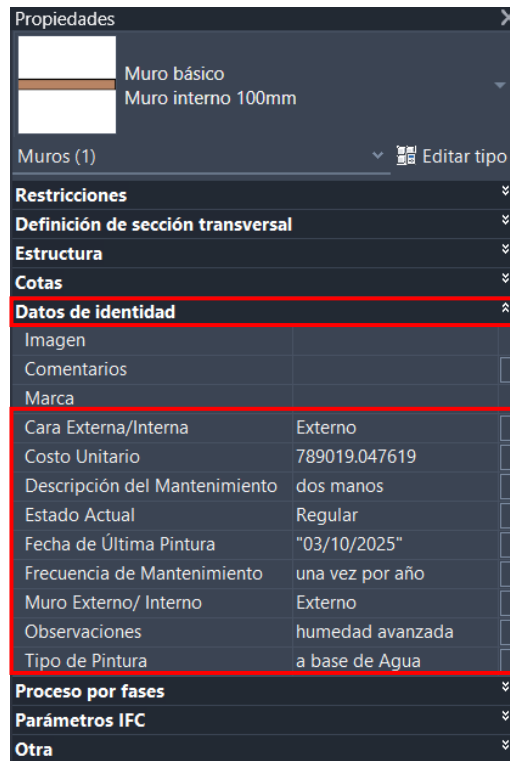
Los elementos que debían recibir la información fueron seleccionados mediante un flujo de selección (el código del paso 3) individual desarrollado para cada uno de los tres elementos arquitectónicos abordados (muros, cubiertas e impermeabilización).

El funcionamiento de este paso se validó visualmente desde la interfaz de Revit, verificando en las propiedades de cada elemento que los datos se reflejaban inmediatamente tras la ejecución del flujo. Es importante aclarar que el script procesó todos los elementos seleccionados de manera simultánea logrando una actualización masiva en segundos. Para poder observar el resultado final de este gran flujo se muestra la Figura 24 que corresponde a las propiedades de un muro con la información importada desde la plantilla.

Sin embargo, se detectó como posible fuente el uso incorrecto del nombre de los parámetros en los nodos SetParameterByName, lo que provocaba que la información no se guardara en el parámetro seleccionado.

Figura 24.

Propiedades de un muro, con los parámetros creados y la información proveniente de la plantilla.



Nota. Elaboración propia.

Es importante resaltar que, cada vez que se ejecuta el flujo, los valores anteriores en los parámetros se sobrescriben. Por eso, la actualización es total, sin conservar registros previos de manera automática.

Para una mejor visualización del flujo y coherencia con lo explicado anteriormente, se puede dirigir al Apéndice D, Apéndice E o Apéndice F, en el recuadro verde menta que se titula “Importar Información desde la plantilla de Excel”.

Conclusiones

La identificación de los requerimientos de información de mantenimiento para elementos arquitectónicos como muros, cubiertas e impermeabilización permitió establecer una base estructurada para su integración en modelos BIM. Entre los parámetros definidos, sobresale el *IfcGUID*, por su capacidad de proporcionar una identificación única a cada elemento; la *Frecuencia de Mantenimiento* y la *Descripción del Mantenimiento*, que facilitan caracterizar el estado y las necesidades operativas de cada componente; y el *Costo Unitario*, útil para estimar presupuestos de mantenimiento. Los parámetros fueron seleccionados a partir de un análisis de literatura, considerando criterios de aplicabilidad, claridad y relevancia en el proceso de mantenimiento.

Como resultado tangible de este análisis, se diseñó una plantilla en Excel de recolección de datos, la cual cumple un rol fundamental al permitir registrar la información en campo, de forma estructurada y compatible con el modelo BIM. Esta herramienta no solo facilita la planificación, sino que también mejora el seguimiento y la toma de decisiones en procesos de mantenimiento en edificaciones educativas. Además, su estructura editable y flexible le otorga versatilidad, lo que podría permitir su adaptación a otros sistemas de la edificación distintos al arquitectónico, ampliando su utilidad en proyectos con otros requerimientos.

La creación de flujos en Dynamo para la integración de información de mantenimiento en el modelo BIM demostró ser una solución eficiente, práctica y adaptable. A través de los flujos, fue posible automatizar la importación de datos desde una plantilla en Excel hacia el modelo

Revit, conservando la integridad y precisión en el traslado de la información registrada. Este proceso redujo el tiempo necesario para la asignación de información, y además redujo errores humanos comunes asociados a tareas repetitivas, como la selección individual de elementos o la transcripción de información.

A pesar de los beneficios observados, se evidenciaron limitaciones, en particular relacionadas con la poca disponibilidad de documentación técnica en español para solucionar errores o dudas específicas. También se identificó que la metodología depende de contar con un modelo BIM bien categorizado y organizado, ya que sin esta base el flujo de trabajo no puede ejecutarse correctamente. En contextos empresariales puede haber resistencia a modificar procesos ya establecidos, en especial cuando se opera con formatos convencionales (formatos en papel) o sistemas internos de mantenimiento. Sin embargo, los resultados obtenidos confirman que este método puede ser escalable y aplicable a otros tipos de edificaciones durante el ciclo de vida, tales como la presupuestación o la programación de actividades, siempre y cuando se disponga de un modelo BIM adecuadamente organizado y categorizado.

Los flujos propuestos no solo alcanzan el objetivo de integrar información de mantenimiento al modelo digital, sino que también representan una herramienta para optimizar procesos y promover la implementación de metodologías BIM en etapas operativas de las edificaciones.

Es importante resaltar que la consolidación de la Metodología para la integración de información de mantenimiento para modelos BIM en edificaciones educativas se realizó por medio del software Bizagi el cual se elaboró por etapas que corresponden a investigación y

definición de parámetros, diseño de la plantilla de Excel, desarrollo del script en Dynamo, integración y visualización en Revit e implementación y Capacitación. Esta última etapa es una propuesta para concluir aplicación de esta metodología. Además, se agregó una segunda pestaña que enseña el proceso que se llevó a cabo para crear el script de muros en Dynamo (Apéndice G).

Recomendaciones

Se evidenció una limitada disponibilidad de material técnico en español específicamente relacionado con el uso de la herramienta Dynamo, en comparación con otros programas más difundidos como Excel. Por esta razón, se recomienda recurrir a recursos complementarios disponibles en línea, como cursos abiertos, tutoriales especializados y repositorios académicos, que permitan fortalecer el aprendizaje autónomo sobre esta herramienta.

Debido a las limitaciones de tiempo y alcance de esta investigación, no fue posible realizar una validación de la metodología. No obstante, dado que la plantilla desarrollada y los scripts creados demostraron ser funcionales, editables y adaptables, se sugiere su aplicación y evaluación en investigaciones futuras que profundicen en contextos reales de mantenimiento en edificaciones educativas.

Referencias Bibliográficas

- Anderson¹, T., & Shattuck², J. (2003). Feature Articles i |j_ Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? In *Journal of the Learning Sciences* (Vol. 13, Issue 1). <https://about.jstor.org/terms>
- Awasho, T. T., & Alemu, S. K. (2023). Assessment of public building defects and maintenance practices: Cases in Mettu town, Ethiopia. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15052>
- AXTER. (2024). *MAINTENANCE GUIDE A GUIDE TO AXTER WATERPROOFING SYSTEM MAINTENANCE*.
- Aziz, N. D., Nawawi, A. H., & Ariff, N. R. M. (2016). Building Information Modelling (BIM) in Facilities Management: Opportunities to be Considered by Facility Managers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 234, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.252>
- Bakar, N. A., Ramli, R., & Sulaiman, S. (2020). *Utilization of Microsoft Excel in Engineering Education: A Case Study in Material Balance Calculations*.
- Beleño, N. (2024). *METODOLOGÍA BIM PARA MANTENIMIENTO DE EDIFICACIONES EDUCATIVAS*.
- Belmonte Fernández, O. (2004). *Introducción al lenguaje de programación Java. Una guía básica*.
- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. In *Automation in Construction* (Vol. 114). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>
- Dinesh Kumar, M. (2023). A Study on Importance of Microsoft Excel Data Analysis Statistical Tools in Research Works. *Journal of Management & Educational Research Innovation (JOMERI)*, 1(3), 76. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10449150>

- Flores-Colen, I., & De Brito, J. (2010). A systematic approach for maintenance budgeting of buildings faades based on predictive and preventive strategies. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1718–1729. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.017>
- Lateef, O. A. (2010). Case for alternative approach to building maintenance management of public universities. *Journal of Building Appraisal*, 5(3), 201–212. <https://doi.org/10.1057/jba.2009.19>
- Liyanage, D. R., Hewage, K., Hussain, S. A., Razi, F., & Sadiq, R. (2024). Climate adaptation of existing buildings: A critical review on planning energy retrofit strategies for future climate. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 199). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114476>
- Noriega, M. L., Huerta, C. L., & Herrera Sánchez, S. (2006). Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información Excel como una herramienta asequible en la enseñanza de la Estadística. *Número 1*, 7.
- Silva, K. M. G., Santos, N. V. dos, Rodrigues, G. J. de O., & Ribeiro, D. M. (2024). A programação em Dynamo aplicada ao desenvolvimento de projetos sustentáveis de engenharia via metodologia BIM. *Caderno Pedagógico*, 21(8), e6404. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n8-039>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. In *Automation in Construction* (Vol. 38, pp. 109–127). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. In *Educational Technology Research and Development* (Vol. 53, Issue 4, pp. 5–23). Springer Boston. <https://doi.org/10.1007/BF02504682>

Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

Apéndice A. Plantilla Mantenimiento.

Apéndice B. Arquitectónico.

Apéndice C. Estructural.

Apéndice D. Integración datos Muros.

Apéndice E. Integración datos Impermeabilización.

Apéndice F. Integración datos Cubierta.

Apéndice G. Proceso metodología integración información.