

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

“Desarrollo de programación visual computacional con dynamo, para el dimensionamiento de sistemas de agua fría y caliente en Edificaciones según el RNE- IS.010 - Edición 2021”

Para obtener el título profesional de Ingeniero Sanitario.

Elaborado por

Yerson Luis Lazo Huaman

 [0009-0005-7653-2657](https://orcid.org/0009-0005-7653-2657)

Asesor

Ing. Roger Edmundo Salazar Gavelan

 [0009-0002-4663-4888](https://orcid.org/0009-0002-4663-4888)

LIMA –PERÚ
2025

Citar/How to cite	Lazo Huaman [1]
Referencia/Reference	[1] Y.L. Lazo Huaman, “Desarrollo de programación visual computacional con dynamo, para el dimensionamiento de sistemas de agua fría y caliente en edificaciones según el RNE- I.S.010 - edición 2021” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.

Citar/How to cite	(Lazo-Huaman, 2025)
Referencia/Reference	Lazo-Huaman, Y.L (2025). <i>Desarrollo de programación visual computacional con dynamo, para el dimensionamiento de sistemas de agua fría y caliente en edificaciones según el RNE I.S.010 - edición 2021</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

Dedicatoria

A mi querida madre, Francisca Huamán, cuya presencia y apoyo incondicional han sido el faro que me guió a través de los momentos más oscuros y los días más brillantes. Gracias por creer en mí y en mis ideas, incluso cuando el camino parecía incierto. Tu fuerza y amor han sido el cimiento sobre el que he construido mis sueños.

A mi hermana Sandra, quien desde el cielo me enseñó el valor de la vida y me recordó que cada día es una bendición y una oportunidad para ser mejor. Llevo tu luz y tu lección en cada paso que doy, guiándome hacia adelante con esperanza y determinación.

Y a mi hija, Rafaella, la chispa de alegría y propósito en mi vida. Eres el motivo por el que me esfuerzo por ser mejor cada día y el motor que impulsa mi dedicación y esfuerzo.

Esta tesis es más que un logro académico; es un tributo a ustedes, las mujeres extraordinarias que han moldeado mi vida. Con amor y gratitud, dedico este trabajo a ustedes, esperando honrarlas en cada palabra y cada descubrimiento.

Agradecimientos

Expreso mi más sincera gratitud a mi familia, docentes y seres queridos, cuyo apoyo, guía y motivación incondicional han sido fundamentales en mi formación académica y personal. Su confianza y acompañamiento han sido esenciales para la culminación de este importante logro, el cual dedico con aprecio y profundo agradecimiento.

Resumen

Este estudio aborda la implementación de programación visual mediante Dynamo para generar herramientas que optimicen el dimensionamiento automático de sistemas de agua fría y caliente en edificaciones. Revit, a pesar de ser un software ampliamente reconocido en la esfera del BIM, no tiene un sistema de dimensionamiento que cumpla completamente con las normativas peruanas. Por lo tanto, este trabajo desarrolla soluciones que incorporan estas normas eficazmente en el proceso de diseño, superando las limitaciones de Revit y garantizando resultados precisos y eficientes.

En esta investigación, se desarrollaron dos rutinas de programación visual en Dynamo para el dimensionamiento de sistemas de agua fría y caliente, ajustadas a la normativa RNE IS.010 de Perú, edición 2021. Las áreas de enfoque incluyen: 1) identificación de la ruta crítica 2) Cálculo Hidráulico.

Las herramientas desarrolladas fueron evaluadas destacando sus limitaciones y comparando su rendimiento con métodos tradicionales, como el uso de hojas de cálculo. La efectividad de estas rutinas se demostró en un proyecto de edificación de múltiples módulos, mostrando resultados que verifican su precisión en comparación con métodos convencionales. Este estudio resalta cómo la programación visual puede mejorar la eficiencia, precisión y cumplimiento de normas peruanas en el diseño de sistemas hidráulicos, marcando un avance sobre los métodos tradicionales.

Palabras clave — Dynamo BIM, Dimensionamiento Automático, Normativa Peruana, Programación Visual.

Abstract

This study addresses the implementation of visual programming through Dynamo to create tools that optimize the automatic dimensioning of cold and hot water systems in buildings. Despite Revit being widely recognized in the BIM sphere, it lacks a dimensioning system that fully complies with Peruvian standards. Therefore, this work develops solutions that effectively incorporate these norms into the design process, overcoming Revit's limitations and ensuring precise and efficient results.

In this research, two visual programming routines were developed in Dynamo for dimensioning cold water systems, adhering to the RNE IS.010 norm of Peru, 2021 edition. The focus areas include: 1) identification of the critical path to optimize water flow; 2) Hydraulic Calculation.

The developed tools were evaluated, highlighting their limitations and comparing their performance with traditional methods, such as the use of spreadsheets. The effectiveness of these routines was demonstrated in a multi-module building project, showing results that verify their accuracy compared to conventional methods. This study underscores how visual programming can enhance efficiency, accuracy, and compliance with Peruvian regulations in hydraulic system design, representing an advance over traditional methods.

Keywords — Dynamo BIM, Automatic Dimensioning, Peruvian Standards, Visual Programming.

Tabla de Contenido

Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Introducción.....	xv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	1
1.3 Objetivos del estudio.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Antecedentes investigativos.....	3
1.5 Hipótesis.....	10
1.5.1 Hipótesis general.....	10
1.5.2 Hipótesis específica.....	10
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	11
2.1 Marco Teórico.....	11
2.1.1 Definición de BIM (Building Information Modeling) en el Perú.....	11
2.1.2 REVIT.....	12
2.1.3 Modelo Paramétrico.....	13
2.1.3.1 Características claves.....	13
2.1.3.2 Ejemplo Práctico en Revit.....	14
2.1.4 Elementos de Revit.....	15
2.1.5 Familias en Revit.....	19

2.1.5.1	Tipos de Familia y sus variaciones.....	20
2.1.5.2	Ejemplos de Aplicación de Familias en Revit.....	21
2.1.6	Dynamo	27
2.1.7	Relación entre Revit y Dynamo	29
2.2	Marco conceptual	31
2.2.1	Estrategia de Programación visual Computacional	31
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....		33
3.1	Diagrama de flujo	33
3.2	Estudio Aplicado.....	35
3.2.1	Condiciones Iniciales de Investigación.....	36
3.2.2	Estandarización de Familias en Instalaciones sanitarias.....	36
3.2.2.1	División de Familias por Tipo de uso de aparatos sanitarios.....	37
3.2.3	Configuraciones aplicadas a los aparatos sanitarios en Revit	38
3.2.3.1	Unidades de aparatos	38
3.2.3.2	Configuración de flujo	38
3.2.3.3	Método de pérdida.....	38
3.2.3.4	Pérdida de carga	38
3.2.3.5	Dirección de flujo	39
3.2.3.6	Clasificación del sistema	39
3.2.4	Configuración aplicada a elementos de almacenamiento de agua	45
3.2.4.1	Configuración de flujo	45
3.2.4.2	Dirección de flujo	45
3.2.4.3	Método de pérdida.....	45
3.2.5	Creación de parámetros compartidos	46
3.2.6	Desarrollo de rutinas de programación visual.....	48

3.2.6.1	Rutina de generación de ruta crítica en dynamo.....	51
3.2.6.2	Cálculo hidráulico de la ruta crítica.....	82
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....		101
4.1	Primer Caso: Edificación de Oficinas en una Planta de Tratamiento de Agua Potable.....	101
4.1.1	Análisis del Primer script: Identificación de la ruta crítica para la Edificación de Oficinas en la Planta de Tratamiento de Agua Potable.....	101
4.1.2	Análisis del Segundo Script (Cálculo Hidráulico) para la Edificación de Oficinas en la Planta de Tratamiento de Agua Potable.....	104
4.1.3	Discusión de resultados.....	106
4.2	Segundo Caso: Edificación de un Multifamiliar de 3 Niveles.....	108
4.2.1	Análisis del Primer script: Identificación de la ruta crítica para la Edificación de 3 Niveles.....	109
4.2.2	Análisis del Segundo Script (Cálculo Hidráulico) para la Edificación de 3 Niveles.....	110
4.2.3	Discusión de resultados.....	111
4.3	Tercer Caso: Edificación con múltiples módulos.....	113
4.3.1	Análisis del Primer script: Identificación de la ruta crítica para la Edificación con múltiples módulos.....	114
4.3.2	Análisis del Segundo Script (Cálculo Hidráulico) para la Edificación de múltiples módulos.....	114
4.3.3	Discusión de resultados.....	116
Conclusiones.....		122

Recomendaciones	125
Referencias bibliográficas	129

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Interfaz de Autodesk Revit versión 2021	13
Figura 2: Elementos de modelo de cuartos de Bombas.....	16
Figura 3: Elementos de modelos de servicios higiénicos	16
Figura 4: Elementos de Nivel	17
Figura 5: Elementos de anotación y símbolos / Desagüe y Ventilación.....	18
Figura 6: Elementos de anotación y símbolos / Agua Fría.....	19
Figura 7: Familias de Aparatos Sanitarios.....	22
Figura 8: Familias de Tipos de inodoros	23
Figura 9: Familia de uniones de tubería.....	24
Figura 10: Familia de Tipo de uniones (Codos 90°) de tubería	24
Figura 11: Familias de accesorios de tubería.....	25
Figura 12: Familias de tipos accesorios (colgadores) de tubería.....	26
Figura 13: Familias de tuberías	27
Figura 14: Logo de Dynamo	28
Figura 15: Interfaz de Dynamo – Ejemplo de secuencia de Nodos.....	29
Figura 16: Esquema entre Dynamo, Revit y Reproductor de Dynamo.....	30
Figura 17: Ejecución de Script en un proyecto de Revit	30
Figura 18: Metodología de investigación.....	33
Figura 19: Configuración de tipo de familia de Inodoro de tanque bajo	39
Figura 20: Configuración del tanque de almacenamiento de agua	46
Figura 21: Diagrama de flujo de modelado en revit 2021	49
Figura 22: Diagrama de flujo de rutinas de dynamo	49
Figura 23: Diagrama de flujo de integración de modelado y dynamo.....	50
Figura 24: Script: selección de tanque de almacenamiento	51

Figura 25: Script: selección del aparato crítico del sistema	54
Figura 26: Script: obtener tuberías de agua fría - parte 01.....	56
Figura 27: Script: obtener tuberías de agua fría - parte 02	57
Figura 28: Script: obtener conectores - parte 01.....	59
Figura 29: Script: obtener conectores - parte 02.....	59
Figura 30: Script: conexión inicial del sistema hidráulico	62
Figura 31: Script: generación de líneas para conexión parte 01.....	64
Figura 32: Script: generación de líneas para conexión parte 02.....	64
Figura 33: Script: unión de elementos del sistema hidráulico	66
Figura 34: Python script parte 01	70
Figura 35: Python script parte 02	71
Figura 36: Identificación de tuberías de ruta crítica	72
Figura 37: Identificación de accesorios en la ruta crítica	76
Figura 38: Colorear tuberías y llenar parámetro de ruta crítica	78
Figura 39: Rellenar parámetros de tramos críticos	81
Figura 40: Script de identificación de ruta crítica completa.....	82
Figura 41: Script: cálculo de cota del primer y último tramo	85
Figura 42: Script: cálculo del caudal en un sistema de tuberías.....	88
Figura 43: Script: conteo de codos en la ruta crítica	91
Figura 44: Script: conteo de tees en la ruta crítica.....	91
Figura 45: Conteo de reducciones en la ruta crítica.....	91
Figura 46: Conteo de válvulas en la ruta crítica	92
Figura 47: Script: Configuración de las filas de datos en excel	95
Figura 48: Script: Exportación en excel.....	99
Figura 49: Script: Diagrama general del cálculo hidráulico	100
Figura 50: Prueba 01: Edificación de un solo Nivel.....	101

Figura 51: Prueba 01: Aplicación del script ruta crítica a partir de dos puntos.....	102
Figura 52: Prueba 01: Llenado de parámetros del tramo crítico.....	103
Figura 53: Prueba 01: Aplicación del script cálculo hidráulico.....	105
Figura 54: Prueba 01: Exportación del cálculo hidráulico.....	106
Figura 55: Aplicación del script cálculo hidráulico para redimensionamiento	107
Figura 56: Exportación del cálculo hidráulico redimensionado	107
Figura 57: Prueba 02: Edificación de tres Niveles	108
Figura 58: Prueba 02: Aplicación del script ruta crítica a partir de dos puntos...	109
Figura 59: Prueba 02: Aplicación del script cálculo hidráulico	110
Figura 60: Prueba 02: Exportación del cálculo hidráulico	111
Figura 61: Aplicación del script cálculo hidráulico para redimensionamiento.....	112
Figura 62: Exportación del cálculo hidráulico redimensionado.....	112
Figura 63: Prueba 03: Edificación de múltiples módulos.....	113
Figura 64: Prueba 03: Aplicación del script cálculo hidráulico	115
Figura 65: Prueba 03: Exportación del cálculo hidráulico	115
Figura 66: Aplicación del script cálculo hidráulico para redimensionamiento.....	116
Figura 67: Exportación del cálculo hidráulico redimensionado.....	117
Figura 68: Aplicación del script de ruta crítica para el módulo 02	118
Figura 69: Aplicación del script de cálculo hidráulico para el módulo 02.....	118
Figura 70: Exportación del cálculo hidráulico.....	119
Figura 71: Aplicación del script cálculo hidráulico para redimensionamiento.....	120
Figura 72: Exportación del cálculo hidráulico redimensionado.....	120

Lista de Tablas

Tabla 1 : Características de Equipo.....	36
Tabla 2 : Características del Programa.....	36
Tabla 3 : Configuración al conector del sistema A.F del aparato uso privado.....	40
Tabla 4 : Configuración al conector del sistema A.C del aparato uso privado.....	41
Tabla 5 : Configuración al conector de A.F del aparato para uso público.....	42
Tabla 6 : Configuración al conector de A.C del aparato para uso público.....	43
Tabla 7: Parámetros compartidos – “Lazos de Agua (LDA) “.....	47

Introducción

La integración de tecnologías avanzadas en ingeniería civil y arquitectura ha sido fundamental para mejorar la eficiencia y precisión en los procesos de diseño y construcción. Específicamente, el Modelado de Información para la Construcción (BIM) ha revolucionado estos procesos, permitiendo una gestión y visualización avanzada de los proyectos de edificación (Autodesk, 2021). Sin embargo, a pesar de la popularidad y capacidad de plataformas como Revit, existen limitaciones significativas en su adaptabilidad a normativas locales específicas, como las que rigen en Perú para los sistemas de agua fría y caliente en edificaciones.

Ante esta realidad, este estudio propone el uso de Dynamo, una plataforma de programación visual que se integra con Revit, para desarrollar herramientas que permitan un dimensionamiento automático y efectivo de estos sistemas, conforme a la normativa RNE IS.010 de Perú, edición 2021 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2022). Este enfoque busca superar las barreras que Revit enfrenta con respecto a la normativa local, garantizando que los diseños sean tanto eficientes como conformes a las regulaciones peruanas.

En este trabajo se desarrollaron dos rutinas en Dynamo: la identificación de la ruta crítica para la optimización del flujo de agua y el cálculo hidráulico según las normativas vigentes. Estas rutinas fueron evaluadas en un proyecto de edificación con múltiples módulos de construcción, demostrando ser una solución viable frente a los métodos tradicionales de cálculo (Johnson, 2021).

Esta investigación no solo resalta la importancia de adaptar la tecnología BIM a contextos normativos específicos mediante la programación visual, sino que también subraya cómo las soluciones personalizadas pueden contribuir a la práctica de la ingeniería sanitaria en entornos regulados, como en Perú.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Esta investigación se centra en la implementación de la programación visual mediante Dynamo para superar las limitaciones de Revit en el cumplimiento de la normativa peruana RNE IS.010, edición 2021, específicamente en el dimensionamiento de sistemas de agua fría y caliente en edificaciones. Mediante el desarrollo de dos rutinas de programación visual, este estudio no solo busca optimizar el flujo de agua a través de la identificación de rutas críticas, sino también asegurar un dimensionamiento preciso que cumpla con las velocidades, presiones mínimas y dimensiones establecidas por la normativa.

Este enfoque innovador no solo mejora la funcionalidad de BIM dentro del marco normativo peruano, sino que también propone un avance significativo en la práctica de la ingeniería, promoviendo una integración más eficaz de las tecnologías de programación visual en el diseño y planificación de sistemas hidráulicos en edificaciones.

1.2 Descripción del problema de investigación

El problema central de esta investigación surge de la limitación observada en el software Revit, ampliamente utilizado en el ámbito del Modelado de Información para la Construcción (BIM), particularmente en su incapacidad para adaptarse y cumplir con las normativas específicas de diseño de sistemas de agua fría y caliente en Perú, según la normativa RNE IS.010, edición 2021. A pesar de su reconocida eficacia en facilitar el diseño, la visualización y la gestión de construcciones, Revit no ofrece herramientas nativas que permitan el dimensionamiento automático de sistemas prediales de agua que se alineen con los estándares y requisitos específicos establecidos por las normativas peruanas. Esta brecha en la funcionalidad no solo aumenta la carga de trabajo al requerir intervenciones manuales y el uso de software

adicional para cumplir con estas normativas, sino que también eleva el riesgo de errores en el diseño, lo que puede resultar en ineficiencias operativas, sobrecostos en construcción y posibles fallas en cumplimiento normativo.

Este problema afecta directamente a los profesionales de la arquitectura e ingeniería en Perú, quienes necesitan herramientas precisas y eficientes que se integren completamente con las prácticas y estándares locales para garantizar la conformidad, eficiencia y sostenibilidad en el diseño de edificaciones. La investigación, por lo tanto, busca desarrollar y validar dos rutinas específicas dentro de Dynamo, que se integra con Revit, para abordar estas deficiencias, permitiendo el dimensionamiento automático y adecuado que cumpla plenamente con la normativa peruana, y ofreciendo una solución integrada dentro del entorno BIM. Este estudio no solo apunta a mejorar la precisión y la eficiencia en el diseño de sistemas hidráulicos prediales, sino que también tiene el potencial de contribuir significativamente a la estandarización y optimización del proceso de diseño en el contexto peruano.

1.3 Objetivos del estudio

Evaluar rutinas de scripts de dynamo en el entorno de Revit utilizando programación computacional visual para centralizar y automatizar el dimensionamiento de sistemas de agua fría y caliente en edificaciones.

1.3.1 Objetivo general

- Desarrollar y evaluar algoritmos en Revit mediante programación visual computacional con Dynamo y Python, con el objetivo de dimensionar eficientemente sistemas de agua fría y caliente en edificaciones, integrando parámetros y funciones que permitan ajustes dinámicos y

cumplimiento con la normativa IS 0.10 en Perú.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y desarrollar scripts de dynamo personalizados en el entorno de programación visual de Revit para el dimensionamiento de sistemas de agua fría y caliente de acuerdo con el RNE- IS 0.10 actualizado al 2021.
- Aplicar el algoritmo desarrollado mediante pruebas y simulaciones en modelos de instalaciones sanitarias en edificaciones.
- Analizar el desempeño del algoritmo desarrollado con Dynamo, comparando los resultados obtenidos con resultados de una plantilla de Excel.
- Proponer recomendaciones y mejoras iterativas basadas en los resultados obtenidos durante la implementación de los scripts de Dynamo, con el objetivo de perfeccionar la automatización y su aplicación práctica en proyectos de ingeniería sanitaria.

1.4 Antecedentes investigativos

Medeiros, G. R. L. (2017) investigó la integración del Building Information Modeling (BIM) con las normas brasileñas para el diseño de sistemas prediales hidráulicos en la Universidad Federal do Ceará. A través de la programación visual en Revit, Medeiros desarrolló tres rutinas de programación para el dimensionamiento del alimentador predial y reservorios, las tabulaciones según el consumo máximo probable y la verificación de la presión residual mínima en el trecho crítico. Este enfoque busca superar las barreras de adaptación del BIM en el ámbito de la ingeniería, ofreciendo un método más eficiente, moderno y competitivo en comparación con las plataformas CAD tradicionales. Este trabajo se posiciona como un catalizador importante en la transición de tecnologías tradicionales hacia la implementación de BIM en proyectos

de sistemas prediales, demostrando su viabilidad y eficacia.

Teixeira, A. P. de M. (2018) investigó la aplicación del Building Information Modelling (BIM) en el diseño de redes prediales de abastecimiento de agua, con el objetivo de integrar tecnología para mejorar la productividad y la calidad de los proyectos. En su tesis, presentada en la universidad do Porto, Teixeira utilizó Revit y Dynamo para desarrollar herramientas que faciliten la modelación virtual, simplificando la construcción de modelos y reduciendo errores. La investigación destacó la importancia de verificar continuamente las piezas diseñadas para optimizar costos y tiempos, y demostró cómo el uso de BIM desde las fases iniciales del diseño de redes prediales puede mejorar significativamente la coordinación y reducir los errores comunes en proyectos de instalaciones hidráulicas.

Vaz Lopes, T. J. C. (2020) exploró la implementación de tecnologías BIM en la industria AEC para superar problemas comunes como errores de proyecto, medición y compatibilización, tradicionalmente enfrentados con metodologías anteriores. En su tesis en la Universidad do Porto, utilizó un edificio en Lisboa como caso de estudio, modelando las redes prediales de drenaje doméstico y pluvial usando Revit. Además, se preparó el proyecto de licenciamiento considerando la entidad licenciadora local. Adoptó una metodología que promovía la interoperabilidad entre Revit, Excel y Dynamo, lo que permitió desarrollar procesos más eficaces y scripts en Dynamo para agilizar la modelación. Los hallazgos demostraron que aunque los scripts facilitaron la modelación y podrían adaptarse a futuros proyectos, las entidades licenciadoras aún no están preparadas para recibir proyectos en formato BIM, obligando a exportar los diseños a DWG y PDF.

Ferreira, E. M. S. (2022) llevó a cabo dos rutinas de programación visual computacional para el dimensionamiento de sistemas de agua fría y caliente teniendo

como referencia la normatividad ABNT NBR 5626. Esta investigación demostró que las rutinas de programación en instalaciones sanitarias incorporadas en la plataforma de Revit logran resultados más efectivos que una hoja de cálculo convencional, ya que se realizó el comparativo con un proyecto real.

Carrera Cosavalente, M. E. (2022) llevó a cabo una investigación para optimizar la creación y exportación de metrados utilizando la metodología Building Information Modeling (BIM) en proyectos de obras civiles, canalizaciones eléctricas y sanitarias. A través de la herramienta Dynamo, se desarrollaron scripts para superar las limitaciones de Revit, como la falta de opciones automáticas para crear encofrados. Los resultados mostraron que mediante la automatización con Dynamo, se lograron reducciones significativas en el tiempo de exportación de metrados, mejorando la eficiencia del proceso en un 20.14% en comparación con los métodos convencionales utilizados en Revit. La investigación concluyó que el uso de Dynamo puede optimizar significativamente los flujos de trabajo en BIM, proporcionando soluciones eficaces para la gestión de cuantificaciones en proyectos de construcción.

Sampaio, R. D. P. (2022) exploró la viabilidad del uso de la metodología BIM y la programación visual para la orquestación de proyectos en la Universidad Federal Do Rio Grande Do Sul. Mediante la parametrización de los elementos del modelo con los códigos de SINAPI y la extracción de presupuestos de una lista de materiales, se evaluaron dos proyectos: una residencia unifamiliar de mediano estándar y una oficina corporativa. El estudio también analizó las variaciones presupuestarias en catorce estados brasileños usando los datos de SINAPI. Se desarrolló una rutina en Dynamo para automatizar el presupuesto basado en los parámetros añadidos en las familias BIM, permitiendo la extracción y comparación eficiente de costos de materiales y mano de obra entre diferentes estados. Los resultados demostraron la eficacia de la herramienta de programación visual en proyectos BIM y sugirieron su aplicabilidad en

instalaciones eléctricas y otras disciplinas.

Sanila, G. S. (2022) desarrolló un concepto openBIM basado en objetos para la coordinación de ranuras y aperturas en proyectos BIM, utilizando un flujo de trabajo impulsado por base de datos y métodos de programación visual como Dynamo en la Technical University of Munich. Este enfoque innovador elimina la necesidad de reenviar archivos o modelos para comunicar un único objeto de vacío (PfV), abordando las deficiencias de los métodos de aprobación existentes que dependen de la versión de archivos puros y que a menudo resultan en inconsistencias y confusión. El concepto permite la coordinación basada en objetos con información actualizada y seguimiento del historial a nivel de objeto, acelerando la coordinación de ranuras y aperturas y manteniendo la consistencia, lo que mejora la calidad del diseño y ofrece un método más eficiente para la planificación de ranuras y aperturas en proyectos BIM.

Yucra Altamirano, L. G. (2023) llevó a cabo el desarrollo de una herramienta informática que integra programación paramétrica–visual para simplificar el uso de software BIM en el diseño y cálculo de instalaciones eléctricas. Esta investigación abordó la complejidad del proceso de diseño y evaluó múltiples interfaces de programación paramétrica–visual, resultando en módulos específicos que se adaptan a las condiciones constructivas en Perú. Los resultados mostraron que la implementación de esta solución en proyectos reales agiliza significativamente la generación de modelos BIM y los cálculos para instalaciones eléctricas, logrando una reducción drástica en el tiempo de generación de modelos y cumpliendo con los estándares normativos peruanos.

Palacios Ramos, D. S. y Robles Collantes, J. S. A. (2023) desarrollaron una guía de automatización utilizando la herramienta de programación visual Dynamo para optimizar el control de avance de obra en la etapa de acabados en proyectos multifamiliares. Esta investigación surgió como respuesta a las dificultades actuales en

el sector de la construcción para gestionar el avance de las subcontratas durante esta etapa crítica. Mediante la integración de Dynamo con herramientas de gestión de productividad y el Last Planner System, los autores lograron mejorar significativamente la eficiencia en la gestión de productividad, permitiendo un monitoreo más efectivo y visualización gráfica del progreso en modelos 3D. La validación de esta propuesta se realizó a través de entrevistas con expertos en el sector, quienes confirmaron su viabilidad y potencial de implementación exitosa en proyectos reales.

Piñero Vega, R. (2023) realizó el diseño y modelado paramétrico de una depuradora de aguas residuales como parte de su Trabajo de Fin de Máster, utilizando la herramienta de programación dinámica Dynamo para automatizar el modelado. A través de un enfoque teórico y empírico, estableció las bases de cálculo para dimensionar los recintos de depuración y desarrolló un modelo tridimensional en REVIT. La integración de Dynamo permitió la asignación automática de parámetros desde una hoja de cálculo a las familias del modelo en Revit, mejorando la eficiencia y precisión del diseño. El proyecto concluyó con pruebas de funcionamiento en una depuradora real y sugirió líneas de investigación futuras, demostrando la viabilidad y la innovación en el modelado de infraestructuras de tratamiento de aguas.

Díaz Arribasplata, A. F. y Herrera Cabrera, K. O. (2023) llevaron a cabo un estudio para analizar e implementar estándares técnicos en la planificación y coordinación de la construcción virtual de proyectos de inversión de baja y mediana complejidad. Mediante un diseño no experimental de tipo descriptivo-comparativo y aplicado con enfoque cualitativo, los autores examinaron dos proyectos de inversión seleccionados por conveniencia. Utilizaron diversas herramientas tecnológicas como Revit, Dynamo, Naviswork, Delphin Express y Microsoft Excel para gestionar la documentación, modelamiento, y análisis de datos. Los resultados demostraron que los estándares técnicos mejoran significativamente la optimización de recursos, productividad y los procesos de modelado y coordinación. La investigación confirmó la

hipótesis de que los estándares técnicos son cruciales para la eficacia de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vertical, proporcionando guías claras para alcanzar los objetivos del proyecto y mantener una comunicación efectiva dentro del equipo BIM.

Lobo dos Santos, R. (2023) desarrolló una metodología para el diseño y dimensionamiento de redes de sprinklers, integrando Building Information Modeling (BIM) y la Seguridad Contra Incendios en Edificios (SCIE) usando Revit y programación en Dynamo. Este estudio, motivado por la adopción creciente de las metodologías BIM y su potencial en la Ingeniería Civil y la Seguridad Contra Incendios, busca optimizar el diseño de sistemas automáticos de extinción de incendios. Se revisaron las normativas de SCIE en Portugal y las directrices europeas para el diseño de redes de sprinklers, y se aplicaron técnicas de programación en Dynamo y Python para desarrollar un modelo de optimización. Este modelo, probado en un estudio de caso real, permitió optimizar el diseño y dimensionamiento de las redes de sprinklers, evaluando diferentes configuraciones y cumpliendo con los estándares normativos, mostrando mejoras significativas en la eficiencia y seguridad de los diseños.

Santos Maia, A. M. (2023) investigó las redes prediales de retorno de agua caliente sanitaria (AQS) mediante la metodología BIM, con el fin de mejorar el confort y la sostenibilidad de estas instalaciones. En su tesis, presentada en la Universidad do Porto, exploró el marco regulatorio y la viabilidad de diseñar y dimensionar estas redes. Utilizando un edificio multifamiliar en Porto como caso de estudio, modeló las redes de abastecimiento y retorno de AQS con Revit y Dynamo, lo que permitió agilizar el proceso. Además, realizó el dimensionamiento del aparato de producción de agua caliente y la bomba de retorno, integrando análisis energéticos y económicos mediante Excel y scripts en Dynamo. La investigación concluyó que el uso de herramientas BIM facilita significativamente la modelación y el dimensionamiento, y que la implementación de redes de retorno es crucial en redes largas por el desperdicio de

agua y el inconveniente para los usuarios, aunque menos competitiva en redes más cortas por los costos iniciales y de energía.

Saleh, M. (2023) abordó la necesidad de mejorar la gestión de instalaciones a través del Building Information Modeling (BIM) en la Technische Universität München, incorporando técnicas de programación visual con Dynamo. Su investigación se centró en la fase operativa y de mantenimiento en la construcción, identificando la ausencia de un marco estructurado para la gestión digital de información a lo largo de estas fases como una gran deficiencia. Propone un marco comprensivo para resolver dificultades recurrentes en la gestión de instalaciones, mejorando la gestión de instalaciones basada en BIM mediante tres pasos: la inclusión del gestor de instalaciones desde las etapas iniciales del proyecto, el desarrollo de un flujo de trabajo estructurado y la garantía de desarrollo de modelos BIM de alta calidad a través de listas de verificación. Este enfoque busca mitigar problemas de calidad en la gestión de instalaciones BIM y mejorar la colaboración entre clientes y gestores de instalaciones utilizando Dynamo para optimizar los procesos.

Ribeiro da Luz, F. C. (2024) desarrolló un estudio en la Universidad Federal de Pernambuco que propone la integración de la modelación de información de construcción (BIM) con el software Revit, la herramienta de programación visual Dynamo, y el lenguaje de programación Python para cuantificar de manera precisa y eficiente los residuos generados en la construcción civil. El proyecto se destacó por la creación de un algoritmo que abarca todos los elementos constructivos, tanto en la fase de construcción como de demolición. Esta automatización y adaptabilidad del algoritmo resultaron en una significativa reducción de tiempo y errores manuales, adaptándose a diferentes contextos de la construcción civil. Los resultados indican que el enfoque del estudio no solo aporta al ámbito académico, sino que también insta a la industria a adoptar prácticas más sostenibles y eficientes, sugiriendo la automatización total y la exploración de nuevas tecnologías como futuras líneas de investigación.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La implementación y evaluación de algoritmos en Revit mediante programación visual computacional con Dynamo y Python para el dimensionamiento eficiente de sistemas de agua fría y caliente, integrando parámetros y funciones que permitan ajustes dinámicos, resultará en una herramienta efectiva que cumple con el RNE- IS 0.10 actualizado al 2021 en el Perú.

1.5.2 Hipótesis específica

- Se espera que el diseño y desarrollo de scripts personalizados en el entorno de programación visual de Dynamo y Revit, específicamente adaptados a los requisitos del RNE, conduzcan a una herramienta funcional y alineada con los estándares normativos.
- Se anticipa que la aplicación del algoritmo en pruebas y simulaciones en modelos de instalaciones sanitarias en edificaciones demostrará la capacidad de la herramienta para abordar casos prácticos y variados de dimensionamiento de sistemas de agua.
- Se postula que el análisis del desempeño, mediante la comparación de resultados con una plantilla de Excel con resultados aplicando Dynamo, revelará la eficiencia y precisión de esta herramienta, destacando su superioridad en términos de rapidez y exactitud en los cálculos.
- Se plantea que la identificación de áreas de mejora y la propuesta de recomendaciones iterativas, basadas en la implementación de los scripts de Dynamo y los resultados obtenidos, conducirán a una evolución continua de la herramienta, optimizando su aplicabilidad en proyectos de ingeniería sanitaria.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Definición de BIM (*Building Information Modeling*) en el Perú

Según la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 19650-1:2021, el Building Information Modeling (BIM) se define como la utilización de una representación digital compartida de un activo construido, con el propósito de facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, con el fin de contar con una base sólida para la toma de decisiones (Instituto Nacional de Calidad, 2021a, p. 8). Esta representación digital integra tanto la información gráfica, como por ejemplo las tuberías en tres dimensiones, como la información no gráfica, como los presupuestos.

Además, el modelo de información progresa en conjunto con el desarrollo del activo a lo largo de todo su Ciclo de Inversión, desde la Programación Multianual de Inversiones hasta el Funcionamiento. Este modelo de información es compartido y elaborado colaborativamente por todos los equipos involucrados, mejorando así la comunicación y el intercambio de información, sin importar la magnitud o complejidad de la inversión.

Es importante destacar que el uso de BIM no se limita únicamente a la creación de modelos en tres dimensiones, sino que también implica la organización estructurada de toda la información relacionada con la inversión y una adaptación organizacional que permita fortalecer los procesos de formulación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los activos generados como resultado de la inversión.

En el contexto de la adopción de Building Information Modeling (BIM) en el Perú, de acuerdo con el numeral 1 del artículo 2 de las Disposiciones para la

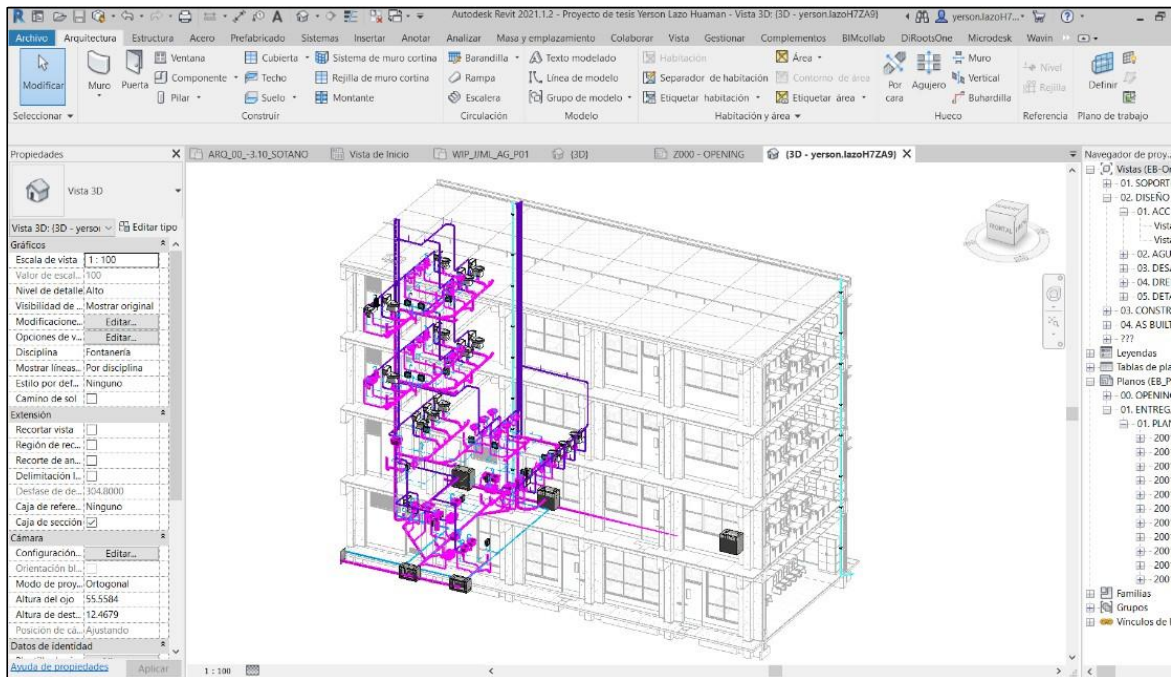
incorporación progresiva de BIM en la inversión pública, aprobadas por el Decreto Supremo N° 289-2019- EF y modificadas por el Decreto Supremo N° 108-2021-EF, BIM se define como una metodología de trabajo colaborativo para la gestión de la información de una inversión pública. Esta metodología involucra la creación de un modelo de información por parte de los actores implicados, con el propósito de facilitar la programación multianual, formulación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura pública. El objetivo es establecer una base confiable para la toma de decisiones.

2.1.2 REVIT

Autodesk Revit es un programa de Modelado de Información de Construcción (BIM, Building Information Modeling) desarrollado por Autodesk para Microsoft Windows. Este software permite a los usuarios diseñar utilizando elementos de modelado y dibujo paramétrico. BIM es un enfoque del diseño asistido por computadora que se basa en objetos inteligentes y tridimensionales. Revit ofrece una completa asociatividad bidireccional, lo que significa que cualquier modificación realizada en un elemento se actualiza automáticamente en todos los demás elementos sin necesidad de intervención manual. Además, un modelo BIM abarca todo el ciclo de vida del proyecto, desde la fase conceptual hasta la construcción final. Esto se facilita gracias a la base de datos relacional subyacente de la arquitectura de Revit, conocida como el motor de cambios paramétricos por sus creadores.

Figura 1

Interfaz de Autodesk Revit versión 2021.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

2.1.3 Modelo Paramétrico

El modelado paramétrico es una metodología de diseño usada en el software de ingeniería y arquitectura que se basa en la definición de geometrías y funcionalidades a través de parámetros. Estos parámetros son variables numéricas o descriptivas que representan características de los elementos de un modelo, como dimensiones, posiciones, formas o cualquier otro atributo relevante.

2.1.3.1 Características claves.

- **Relaciones Definidas:** En Revit, las relaciones entre elementos no son estáticas; están definidas por parámetros que pueden cambiar en respuesta a modificaciones en otros elementos del modelo. Esto permite que los cambios se propaguen automáticamente, manteniendo

la coherencia y precisión del diseño.

- **Automatización de la Coordinación:** Cuando un parámetro cambia, Revit ajusta automáticamente todos los elementos relacionados. Esto elimina gran parte del trabajo manual que implicaría ajustar cada componente de forma individual, facilitando así la gestión de proyectos complejos.
- **Eficiencia en el Diseño:** El uso de parámetros facilita la experimentación y la optimización del diseño. Los diseñadores pueden modificar fácilmente las características de un modelo y ver los efectos de esos cambios en tiempo real, lo que ayuda en la toma de decisiones y en la mejora del diseño final.
- **Independencia de la Escala del Proyecto:** Desde pequeñas reformas hasta grandes desarrollos urbanos, el modelado paramétrico se adapta a cualquier escala. Esto lo hace ideal para una amplia variedad de proyectos en la arquitectura y la ingeniería.
- **Mantenimiento del Historial de Cambios:** Un aspecto fundamental del modelado paramétrico es su capacidad para rastrear los cambios a lo largo del tiempo. Esto no solo ayuda en la fase de diseño, sino también durante la construcción y el mantenimiento posterior del edificio.

2.1.3.2 Ejemplo Práctico en Revit.

Imagina un sistema de tuberías en un edificio. Si se modifica la ubicación de un baño, Revit puede ajustar automáticamente la longitud y la ruta de las tuberías asociadas, gracias a la programación paramétrica que conecta estos elementos. Esto reduce el tiempo y el costo asociados con la reevaluación manual de cada elemento afectado.

Por lo tanto, el modelado paramétrico en Revit no es solo una herramienta de

diseño; es una estrategia integral que mejora la eficiencia, reduce errores y facilita la colaboración entre equipos. Permite a los arquitectos e ingenieros construir modelos virtuales que no solo representan visualmente un edificio, sino que también simulan su comportamiento en el mundo real bajo diferentes condiciones, asegurando así una mejor calidad y ejecución del proyecto.

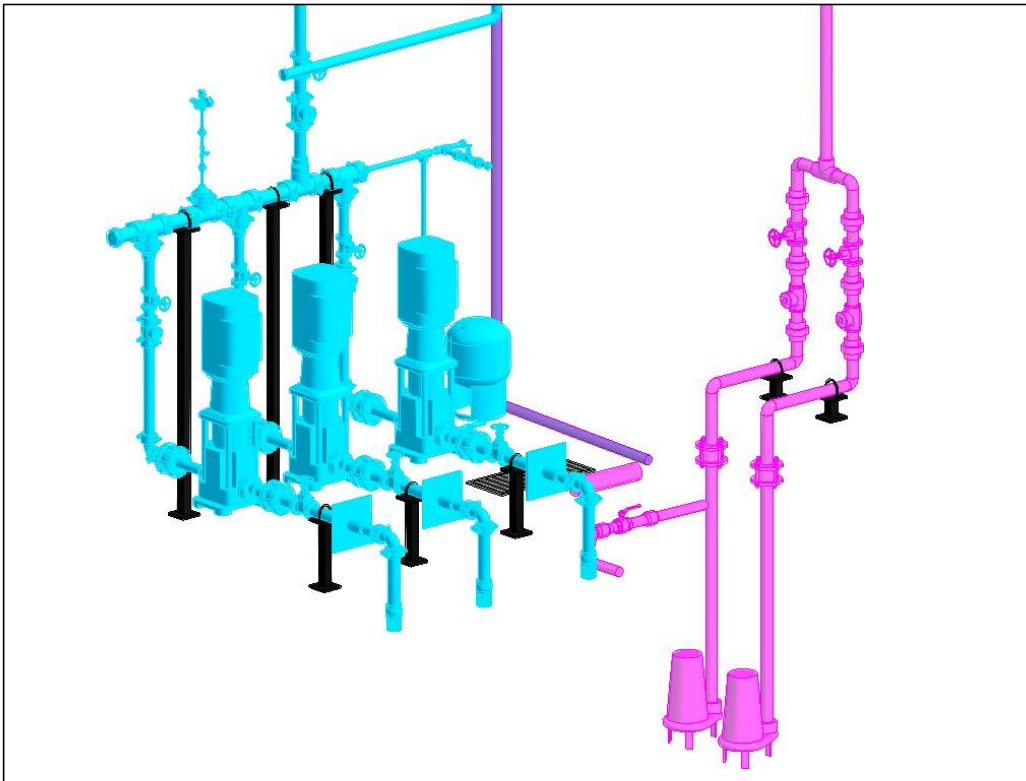
2.1.4 Elementos de Revit

Revit, una herramienta poderosa en el diseño y modelado, clasifica los elementos de un proyecto en tres categorías principales, cada una con funciones y aplicaciones específicas:

1. Elementos de Modelo: Representan los componentes físicos del sistema en una edificación. Tomando como referencia el sistema de instalaciones sanitarias estas incluyen a todos los accesorios y conexiones, tales como:
 - Tuberías
 - Uniones de tuberías
 - Válvulas
 - Bombas
 - Lavaderos
 - Inodoros
 - Soportería

Figura 2

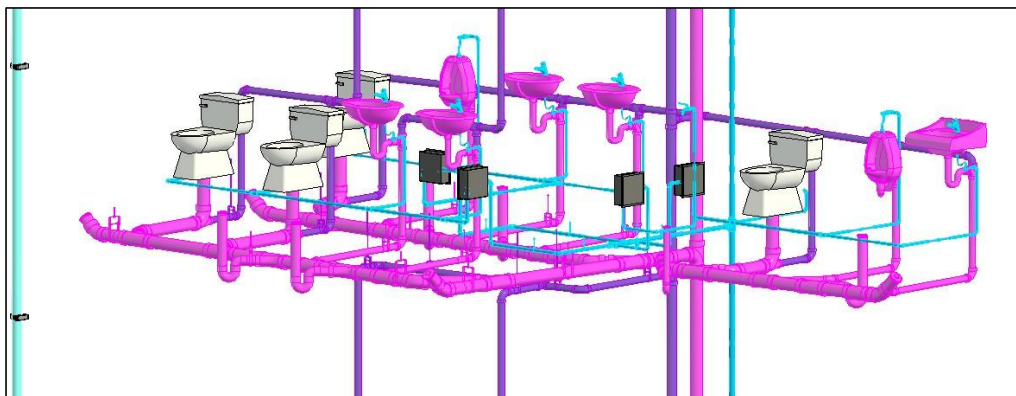
Elementos de modelo de cuartos de Bombas.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 3

Elementos de modelos de servicios higiénicos.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

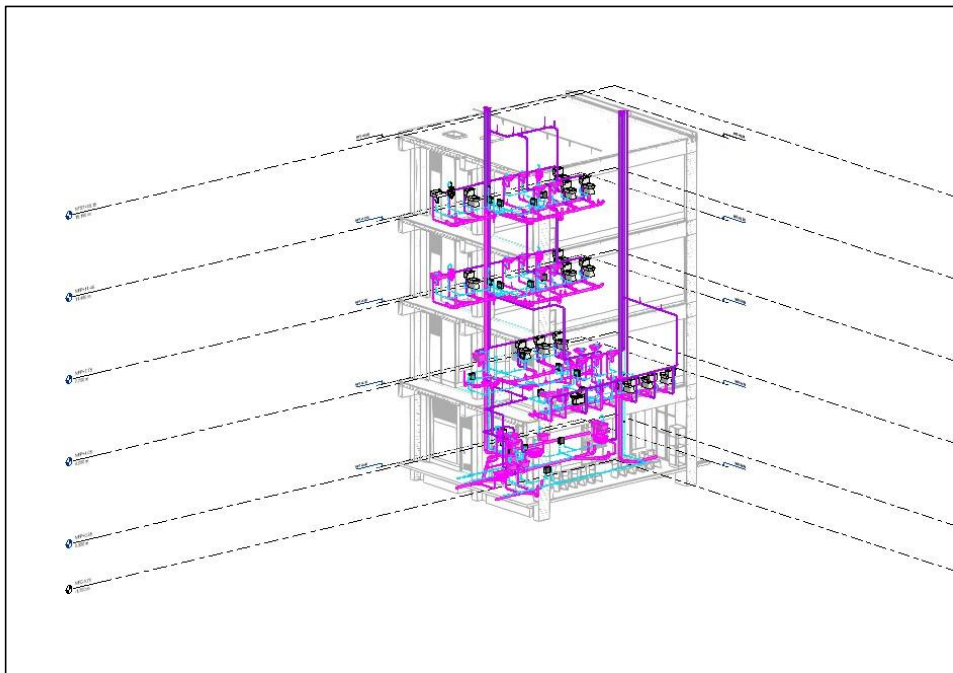
Estos elementos son fundamentales para la representación precisa del sistema sanitario dentro del modelo 3D y son visibles en vistas relevantes como planos y secciones.

2. Elementos de Referencia: Son críticos para definir el diseño espacial y las trayectorias de las tuberías. Aunque no se visualizan en la documentación final, son esenciales para la correcta ubicación y alineación de los sistemas de fontanería. Ejemplos incluyen:

- Niveles de piso
- Ejes de alineación
- Líneas de referencia

Figura 4

Elementos de Nivel.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

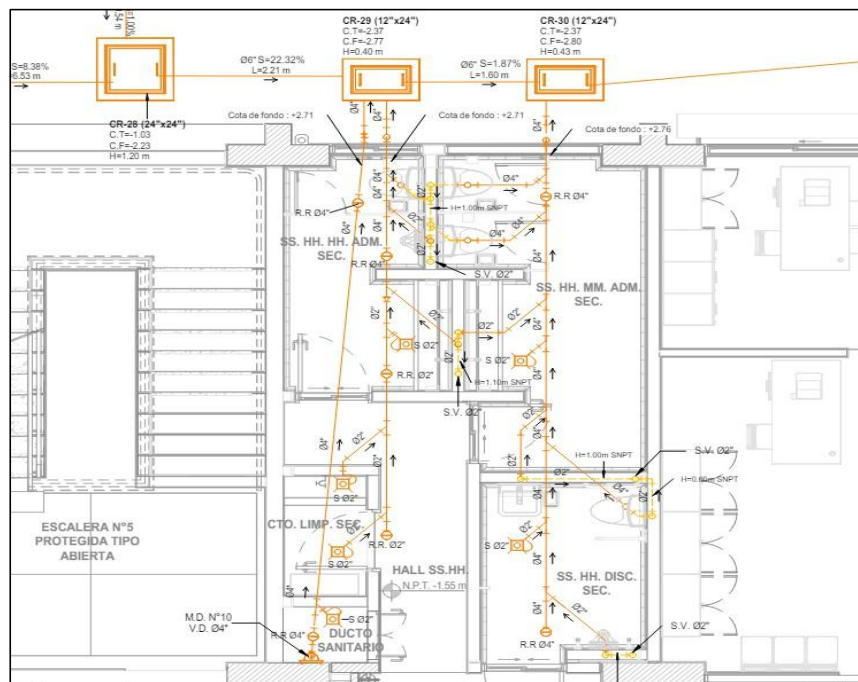
Estos elementos ayudan a los diseñadores a establecer rutas de tuberías y la ubicación de los aparatos sanitarios siguiendo parámetros definidos y coherentes en todo el proyecto.

3. Elementos Específicos de Vista: Son utilizados principalmente para la anotación y detalles específicos de las instalaciones de fontanería que solo son necesarios en ciertas vistas. Estos elementos incluyen:

- Anotaciones de dimensiones
- Etiquetas de identificación de equipos
- Símbolos de pendientes y direcciones de flujo

Figura 5

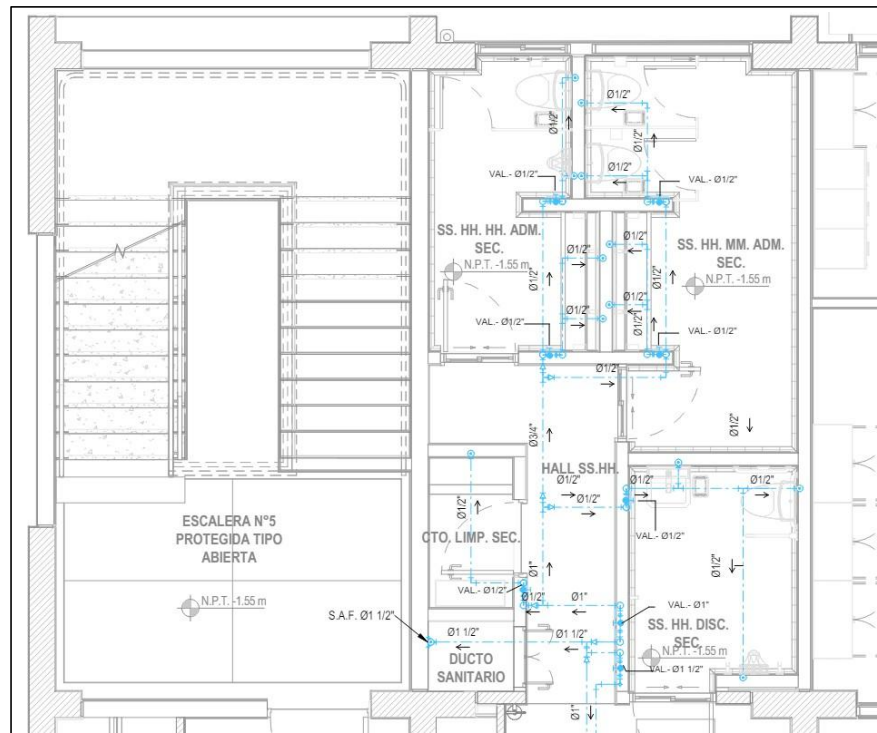
Elementos de anotación y símbolos / Desagüe y Ventilación.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 6

Elementos de anotación y símbolos / Agua Fría.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Facilitan la interpretación y el entendimiento de los sistemas específicos dentro de diversas vistas del proyecto, garantizando que toda la información es clara y accesible donde se requiera.

2.1.5 Familias en Revit

En Revit, el concepto de "familia" es fundamental para la organización y gestión de elementos dentro de un proyecto. Una familia en Revit se define como un grupo de elementos que comparten un conjunto común de propiedades, conocidas como parámetros, y una representación gráfica asociada. Estos parámetros dictan las características y comportamiento de los elementos dentro de la familia.

2.1.5.1 Tipos de Familia y sus variaciones.

Dentro de cada familia, existen variaciones denominadas "tipos de familia" o simplemente "tipos". Aunque todos los tipos dentro de una familia comparten el mismo conjunto de parámetros, pueden tener diferentes valores para estos parámetros, lo que permite adaptar los elementos a necesidades específicas sin alterar su definición básica. Esta flexibilidad es esencial para la personalización y optimización de diseños en Revit.

1. Familias de Sistema: Las familias de sistema son elementos fundamentales en Revit que se utilizan para construir la infraestructura básica de un edificio, incluidos los componentes del sistema sanitario. Estos elementos son predefinidos en Revit y no requieren ser cargados desde archivos externos. Son esenciales para:
 - Tubos y conductos: Componentes vitales en la creación de redes sanitarias y HVAC dentro del modelo.
 - Estructuras como muros y suelos que pueden incluir integraciones de sistemas sanitarios.

Estas familias son gestionadas directamente dentro de Revit y son configuradas para adaptarse a las normativas y especificaciones de construcción.

2. Familias Cargables: Las familias cargables son más flexibles y se utilizan para modelar componentes que normalmente se compran e instalan, como parte de los acabados y los accesorios en un proyecto. En el contexto de sistemas sanitarios, estas familias incluyen:

- Aparatos sanitarios como inodoros, lavatorios, lavaderos y duchas.
- Elementos de calefacción y refrigeración como calderas y unidades de tratamiento del aire.
- Accesorios como válvulas y colgadores que son parte integral del sistema de fontanería.

Estas familias se crean en archivos RFA externos y se pueden personalizar completamente para adaptarse a las necesidades específicas de un proyecto, haciendo posible la creación de catálogos de tipos que permiten cargar solo los componentes necesarios.

3. Familias In Situ: Para los elementos únicos que deben ser diseñados específicamente para un proyecto, como componentes de fontanería personalizados o adaptaciones a estructuras existentes, se utilizan las familias in situ. Estas permiten:

- Creación de geometría que se adapta a las condiciones específicas del sitio.
- Modelado de componentes que interactúan directamente con otros elementos del proyecto, asegurando que todo se ajuste perfectamente.

Las familias in situ son útiles para el diseño de sistemas sanitarios cuando se requieren soluciones a medida, como la integración de un sistema de sanitario en un espacio con restricciones arquitectónicas particulares.

2.1.5.2 Ejemplos de Aplicación de Familias en Revit.

En Revit, las familias son esenciales para el modelado detallado de sistemas sanitario en proyectos de construcción. A continuación, se describen las principales

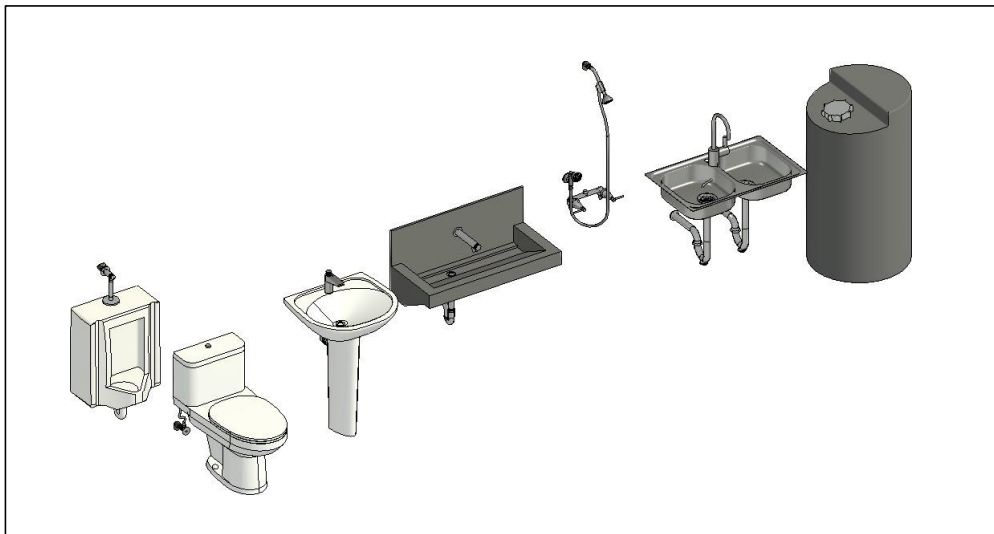
categorías de familias usadas en la fontanería, que ayudan a los diseñadores y arquitectos a crear, gestionar y documentar eficientemente los sistemas sanitarios:

1. Aparatos Sanitarios: Esta categoría incluye familias que se utilizan para representar y modelar diferentes tipos de elementos sanitarios como inodoros, lavatorios, bidets y lavaderos. Cada familia permite variaciones en diseño, tamaño y configuración para adaptarse a las necesidades específicas del espacio y las preferencias de diseño.

Ejemplo: Una familia de inodoros en Revit podría incluir varios tipos, cada uno representando diferentes estilos y tecnologías de ahorro de agua, permitiendo a los diseñadores seleccionar el más adecuado según las normativas de sostenibilidad y las demandas del cliente.

Figura 7

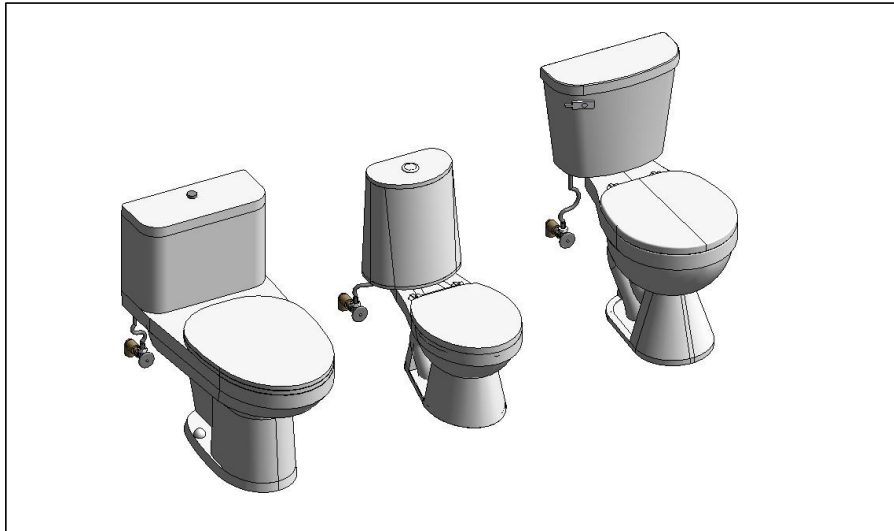
Familias de Aparatos Sanitarios.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 8

Familias de Tipos de inodoros.



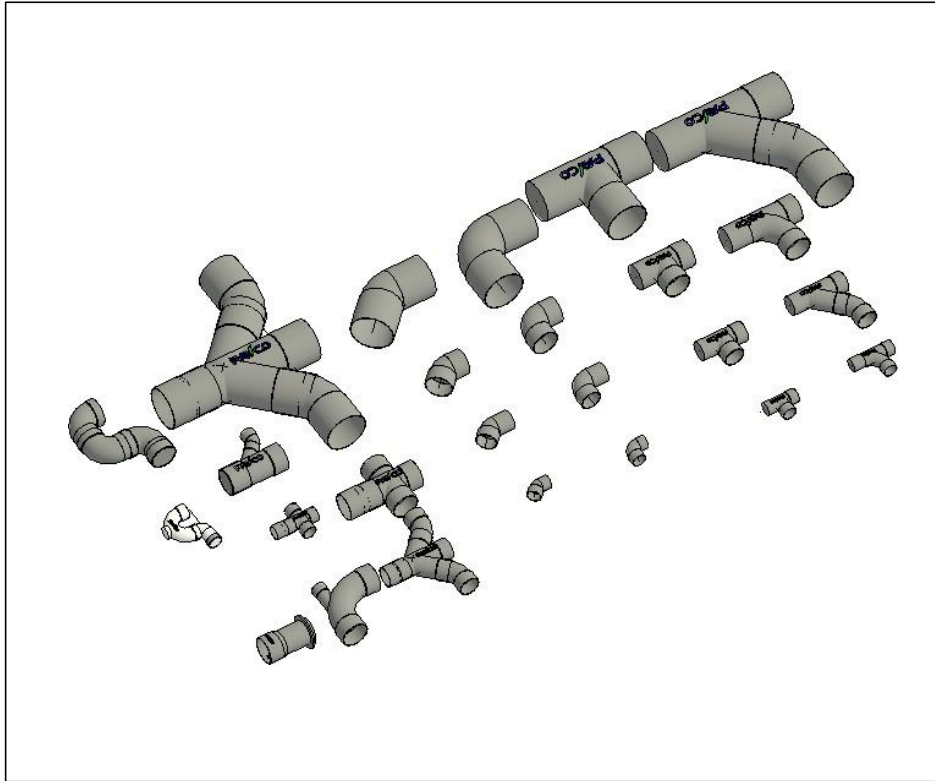
Fuente: Elaboración Propia (2024)

2. Uniones de Tubos: Incluye familias para crear conexiones entre tuberías como codos, tees, yees y uniones. Estos componentes son cruciales para diseñar la red de tuberías de un edificio, asegurando una correcta instalación y funcionamiento del sistema de fontanería.

Ejemplo: Las familias de codos en Revit pueden incluir varios tipos basados en ángulos diferentes (por ejemplo, 45° y 90°), materiales y diámetros, facilitando su selección y colocación en el modelo según los requisitos del diseño de la red.

Figura 9

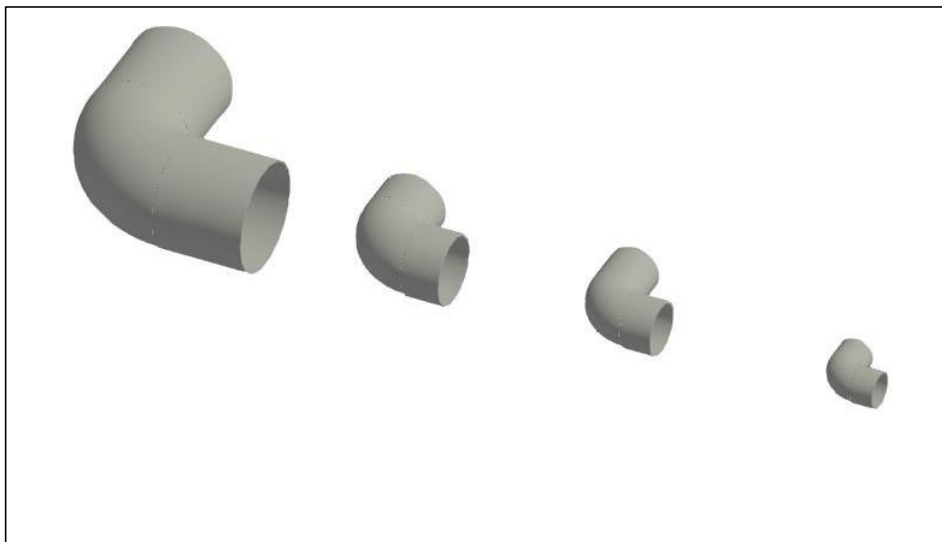
Familia de uniones de tubería.



Fuente: Pavco wavin (2024)

Figura 10

Familia de Tipo de uniones (Codos 90°) de tubería.



Fuente: Pavco wavin (2024)

3. Accesorios de Tubos: Esta categoría engloba elementos como colgadores, registros y sumideros que son esenciales para el soporte, acceso y drenaje dentro de los sistemas de fontanería.

Ejemplo: Una familia de colgadores puede ofrecer tipos variados que se diferencian por el material, tamaño y capacidad de carga, permitiendo a los ingenieros especificar el soporte adecuado para diferentes configuraciones de tubería.

Figura 11

Familias de accesorios de tubería.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 12

Familias de tipos accesorios (colgadores) de tubería.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

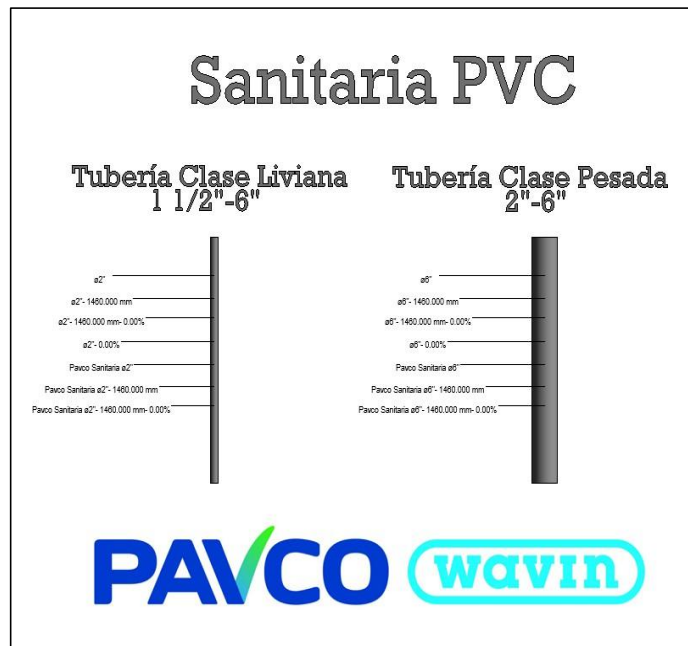
4. Tuberías: Representa una de las familias más fundamentales en las instalaciones sanitarias en Revit, incluyendo varios tipos de tuberías como PVC, cobre, acero inoxidable, etc. Cada tipo está diseñado para cumplir con distintas normativas y aplicaciones dentro del sistema sanitario del edificio.

Ejemplo: Las familias de tuberías en Revit permiten seleccionar el material y dimensiones adecuadas basadas en la aplicación específica, como suministro de agua fría/caliente o drenaje, adaptándose a las exigencias técnicas y normativas del proyecto.

Figura 13

Familias de tuberías.

Fuente: Pavco wavin (2024)



El uso de familias en Revit para el diseño de sistemas sanitarios proporciona una metodología detallada y eficiente, que no solo facilita la creación de modelos precisos y detallados, sino que también optimiza el proceso de diseño y construcción. Las familias en Revit permiten a los profesionales ajustar cada componente del sistema para cumplir con los estándares de seguridad, funcionalidad y estética, asegurando que todos los aspectos del sistema sanitario sean coherentes y estén bien integrados en el diseño general del edificio.

2.1.6 Dynamo

Dynamo es una herramienta de programación visual que se puede descargar y utilizar de manera independiente en modo "Sandbox", o como un complemento para otros programas como Revit, FormIt o Civil 3D. Con Dynamo, podemos trabajar en un entorno de programación visual, donde conectamos elementos para definir relaciones y secuencias

de acciones que forman algoritmos personalizados. Estos algoritmos pueden ser utilizados para una variedad de aplicaciones, desde el procesamiento de datos hasta la generación de geometría, todo en tiempo real y sin necesidad de escribir ningún código.

Figura 14

Logo de Dynamo.

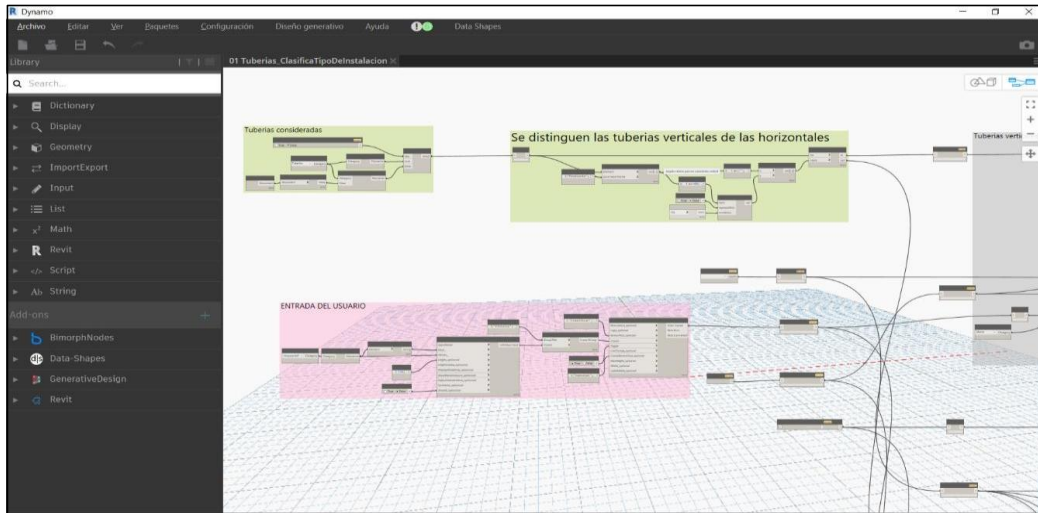


Fuente: <https://dynamobim.org/> (2024)

Los nodos y los cables constituyen los elementos fundamentales de Dynamo para apoyar un proceso de programación visual. Facilita el establecimiento de relaciones visuales y sistémicas sólidas entre las partes de un diseño. Con un simple clic del ratón, puedes conectar los nodos fácilmente mientras desarrollas y optimizas tu flujo de trabajo de diseño.

Figura 15

Interfaz de Dynamo – Ejemplo de secuencia de Nodos.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

2.1.7 Relación entre Revit y Dynamo

Revit es un software de Modelado de Información de Construcción (BIM) desarrollado por Autodesk que permite a los arquitectos, ingenieros y diseñadores crear modelos 3D inteligentes de edificios y estructuras. Por otro lado, Dynamo es una herramienta de programación visual de código abierto desarrollada por Autodesk, que se puede utilizar como un complemento para Revit u otros programas de diseño de la misma empresa, como FormIt o Civil 3D.

La relación entre Revit y Dynamo se basa en su integración para ampliar las capacidades de diseño y análisis en el entorno BIM. Dynamo permite a los usuarios crear algoritmos visuales personalizados para automatizar tareas, manipular datos y explorar diseños de manera iterativa dentro de Revit. Esto se logra mediante la conexión de elementos gráficos llamados "nodos" para definir relaciones y secuencias de acciones que generan resultados específicos en el modelo de Revit.

La integración de Dynamo en Revit ofrece a los usuarios la capacidad de mejorar la eficiencia del diseño, la precisión y la colaboración en proyectos de construcción. Por ejemplo, los usuarios pueden crear scripts personalizados en Dynamo para automatizar la generación de geometría compleja, optimizar el diseño paramétrico y realizar análisis avanzados, como simulaciones de energía o análisis estructurales.

La colaboración entre Revit y Dynamo abre nuevas posibilidades para la innovación en el diseño arquitectónico y la ingeniería, al permitir a los profesionales explorar y experimentar con nuevas ideas de manera rápida y eficiente dentro del entorno BIM.

Figura 16

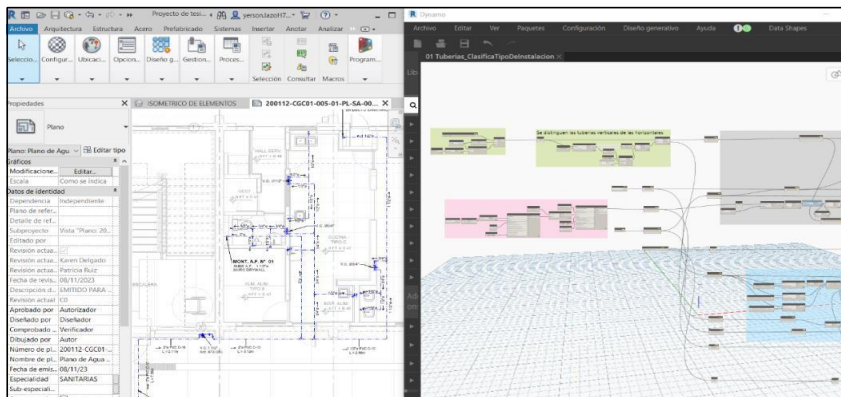
Esquema interactivo entre Dynamo, Revit y Reproductor de Dynamo.



Fuente: Google (2024)

Figura 17

Ejecución de Script en un proyecto de Revit.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Estrategia de Programación visual Computacional

El cálculo hidráulico se centró en la identificación de la ruta crítica del sistema, un aspecto fundamental para determinar el tramo con las condiciones más exigentes. Es importante destacar que esta investigación no busca reemplazar la intervención del ingeniero sanitario, sino complementar su labor al proporcionar una herramienta que facilite la identificación del aparato sanitario más desfavorable. Esto es relevante ya que, en algunos casos, el aparato más alejado o a mayor altura no es necesariamente el más crítico, pudiendo existir aparatos especiales con requisitos de presión de salida superiores al mínimo normativo.

Una vez identificada la ruta crítica, se procedió al cálculo hidráulico automatizado mediante un script desarrollado en Dynamo, el cual realiza las siguientes acciones de manera eficiente:

1. **Conversión de Unidades Hunter a Caudal:** El script transforma las unidades de consumo Hunter en valores de caudal de diseño.
2. **Cálculo de Velocidades y Presiones:** Se verifican las velocidades de flujo y las presiones mínimas requeridas.
3. **Conteo de Elementos:** Se realiza un análisis detallado de los componentes presentes en la ruta crítica, como longitudes de tubería, codos, tees, válvulas y otros accesorios que generan pérdidas de carga.

Toda esta información es exportada automáticamente a un archivo Excel, permitiendo al ingeniero sanitario realizar un análisis técnico detallado. El script no pretende tomar decisiones de diseño finales, sino agilizar los cálculos, mejorar la

precisión en la transferencia de datos y reducir los tiempos de análisis, manteniendo siempre la supervisión y criterio profesional del especialista en instalaciones sanitarias.

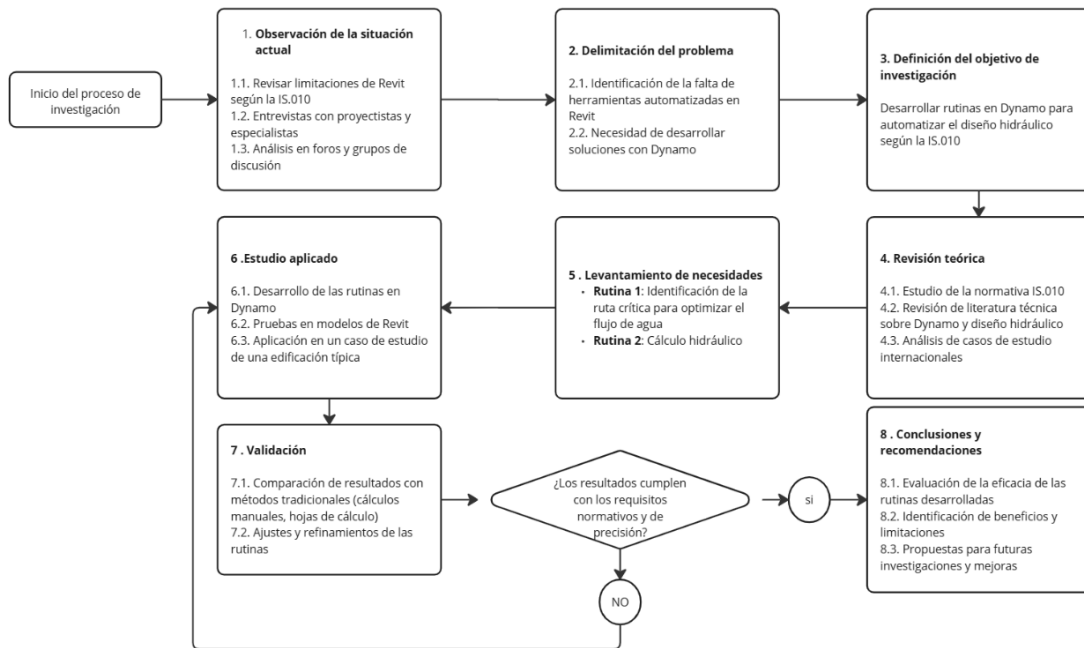
Finalmente, con estos procesos, se completó el cálculo para el agua fría. El cálculo del agua caliente se solucionó utilizando las mismas herramientas y metodologías desarrolladas para el agua fría, adaptándolas según fuera necesario. Este enfoque integral permitió una automatización eficiente y el cumplimiento con la normativa RNE-IS.010 de Perú, mejorando significativamente el proceso de dimensionamiento de sistemas de agua en edificaciones.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Diagrama de flujo

Figura 18

Metodología de investigación.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

La metodología empleada en esta investigación se estructuró en ocho etapas que permitieron garantizar la adaptación del diseño automatizado de redes hidráulicas al marco normativo peruano:

1. **Observación de la situación actual:** Se identificaron las limitaciones de Revit en el diseño automatizado de redes hidráulicas ajustadas a la **norma IS.010**, mediante entrevistas a proyectistas y revisiones de discusiones en foros especializados.

2. **Delimitación del problema:** Se constató la ausencia de herramientas que integren cálculos normativos automatizados en Revit, lo que planteó la necesidad de desarrollar soluciones complementarias mediante Dynamo.
3. **Definición del objetivo:** El objetivo de este trabajo es desarrollar rutinas en Dynamo para automatizar el diseño de sistemas de agua fría y caliente, cumpliendo con la **IS.010** y optimizando los procesos de cálculo.
4. **Revisión teórica:** Se revisaron fuentes nacionales e internacionales, incluidas la normativa **IS.010**, artículos técnicos y manuales de diseño, para definir parámetros y métodos de cálculo relevantes.
5. **Levantamiento de necesidades:** Se definieron dos rutinas programáticas:
 - **Identificación de la ruta crítica:** Enfocada en determinar el tramo más demandante del sistema hidráulico.
 - **Cálculo Hidráulico:** Determinación de velocidades, número de uniones en las tuberías, longitudes totales, pérdidas de carga, diferencias de nivel entre el punto de abastecimiento y el punto crítico, así como las presiones requeridas conforme a la normativa vigente.
6. **Estudio aplicado:** Las rutinas desarrolladas fueron probadas en un modelo típico de edificación en Revit, lo que permitió evaluar su aplicabilidad en condiciones reales.
7. **Validación:** Los resultados de las rutinas fueron comparados con métodos tradicionales, como hojas de cálculo y cálculos manuales, para garantizar la precisión y fiabilidad de las herramientas desarrolladas.

8. **Conclusión:** Se evaluaron los resultados obtenidos, destacando las fortalezas de las herramientas automatizadas y proponiendo recomendaciones para futuros trabajos.

3.2 Estudio Aplicado

En un proyecto donde se busca incorporar herramientas de Dynamo, es fundamental considerar que estas aplicaciones son personalizadas y deben adaptarse a las condiciones específicas del proyecto. La programación computacional requiere una configuración previa que establezca las condiciones iniciales bajo las cuales se desarrollará. Esto incluye factores como la versión de Revit utilizada, el idioma del software, la creación de parámetros compartidos y la compatibilidad de las familias a trabajar. Estas consideraciones son esenciales para garantizar que las rutinas desarrolladas funcionen correctamente y cumplan con los objetivos del proyecto. Además, al aplicar estas herramientas en otros proyectos, es crucial realizar una evaluación previa para identificar posibles incompatibilidades o ajustes necesarios. De no considerarse estas condiciones desde el inicio, podrían surgir errores que afecten el flujo de trabajo y la precisión de los resultados. Por ello, el éxito de estas aplicaciones depende en gran medida de una planificación cuidadosa y una adecuada integración con las especificaciones del entorno BIM.

3.2.1 Condiciones Iniciales de Investigación.

Tabla 1

Características de Equipo.

Aspecto	Detalle
Fabricante	Lenovo
Procesador (CPU)	Intel Core i7-10750H @ 2.60GHz
Memoria RAM	16.0 GB
Sistema Operativo	Windows 10 Enterprise (64 bits)
Edición	22H2
Almacenamiento (Disco Duro)	SSD de 475 GB
Tarjeta Gráfica Principal (GPU 1)	NVIDIA Quadro P620
Gráficos Integrados (GPU 0)	Intel UHD Graphics

Tabla 2

Características del Programa.

Aspecto	Detalle
Software	Revit 2024 versión Ingles
Normativa	Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) 2021
Herramientas de soporte	Dynamo (versión compatible con Revit 2024)
Parámetros compartidos	Parámetros personalizados
Familias	Aparatos sanitarios personalizados
Unidades de Medida	Longitude (m), Caudal (l/s) , Diámetros (pulgadas fraccionarias) , Presión (m.c.a),
Modelo base	Edificación con sistemas de agua fría y caliente

3.2.2 Estandarización de Familias en Instalaciones sanitarias

La correcta configuración de los conectores en las familias de Revit es fundamental para garantizar un modelado hidráulico alineado con las normativas nacionales. En el caso de la IS.010, los cálculos hidráulicos se basan en las Unidades Hunter (UH), un valor que representa la demanda relativa de cada aparato sanitario. Sin embargo, Revit utiliza de manera predeterminada las Fixture Units (FU) como base

para los cálculos, lo que requiere adaptaciones para cumplir con los estándares peruanos.

En este apartado, se detalla el proceso de estandarización de las Unidades Hunter (UH) en las familias sanitarias de Revit, considerando las tablas normativas de la IS.010 para edificaciones privadas y públicas. Este enfoque busca asegurar uniformidad en los cálculos, automatización del modelado y alineación con los requisitos técnicos locales.

3.2.2.1 División de Familias por Tipo de uso de aparatos sanitarios.

Para garantizar la correcta aplicación de las Unidades Hunter, las familias sanitarias se dividieron en dos grandes grupos, según el tipo de edificación:

A. Edificaciones (Aparatos de uso privado):

- Incluyen viviendas unifamiliares, multifamiliares, pequeños comercios, etc.
- Las Unidades Hunter asignadas se basan en el **Anexo N° 1 de la IS.010**, que detalla los valores de UH para aparatos de uso privado.

B. Edificaciones (Aparatos de uso público):

- Consideran edificios de alta concurrencia, como oficinas, escuelas, hospitales, restaurantes, etc.
- Las Unidades Hunter asignadas se basan en el **Anexo N° 2 de la IS.010**, que establece los valores de UH para aparatos de uso público.

3.2.3 Configuraciones aplicadas a los aparatos sanitarios en Revit

3.2.3.1 Unidades de aparatos.

- Se estableció un valor de **Unidades Hunter** para los aparatos sanitarios que intervengan en el cálculo hidráulico, según las tablas normativas de la **IS.010**, que definen la carga relativa de este tipo de aparato. Este ajuste reemplaza las **Fixture Units (FU)** que Revit asigna por defecto, alineando los cálculos con las prácticas locales.

3.2.3.2 Configuración de flujo.

- El parámetro "**Configuración de flujo**" se definió como "**Unidades de aparatos**", permitiendo que Revit acumule automáticamente las demandas de caudal en los tramos aguas arriba, tomando como base los valores de UH configurados.

3.2.3.3 Método de pérdida.

- Se seleccionó el método de "**Pérdida específica**" para establecer un valor fijo de pérdida de carga en el conector, asegurando consistencia en los cálculos hidráulicos.

3.2.3.4 Pérdida de carga.

- Se configuró una **presión de salida mínima de 2.000 mH₂O (metros columna de agua)**. Este valor representa la presión requerida en el aparato sanitario más desfavorable, garantizando el funcionamiento adecuado del sistema. Este ajuste es esencial, ya que Revit utiliza **Pa** como unidad predeterminada para la presión, lo cual fue modificado para trabajar en términos de mH₂O, según los estándares peruanos.

- El valor definido para este parámetro en este proyecto de investigación ha sido para cada tipo de familia. Para un proyecto real, el proyectista tendrá que asumir el valor de presión de salida según considere como criterio.

3.2.3.5 Dirección de flujo.

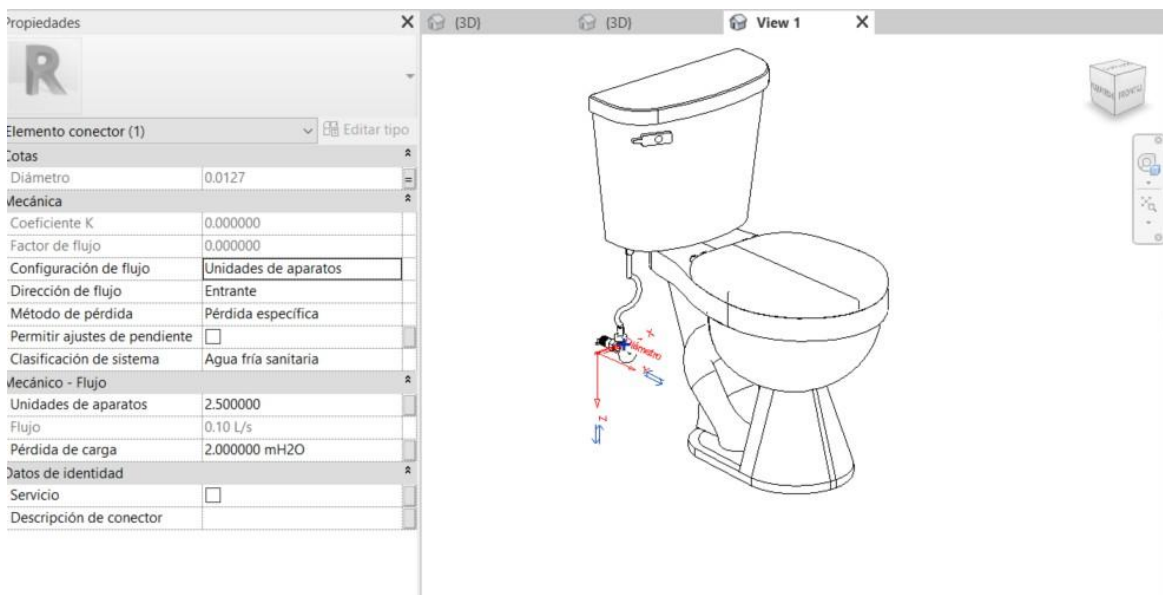
- El conector se configuró con una **dirección de flujo entrante**, indicando que recibe agua desde el sistema principal.

3.2.3.6 Clasificación del sistema.

- El sistema se clasificó como **"Agua fría sanitaria" o "Agua caliente sanitaria"**, alineándose con los requerimientos de la **IS.010** para sistemas de agua potable en edificaciones.

Figura 19

Configuración de tipo de familia de Inodoro de tanque bajo.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Tabla 3

Configuración al conector del sistema de agua fría del aparato uso privado.

APARATO SANITARIO	TIPO	UNIDADES DE APARATO (UH)	CONFIGURACIÓN DE FLUJO	DIRECCIÓN DE FLUJO	MÉTODO DE PÉRDIDA	CLASIFICACIÓN DE SISTEMA
Inodoro	Con tanque - descarga reducida	1.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Inodoro	Con tanque	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática	6	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Bidé		0.75	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Lavatorio		0.75	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Lavadero		2	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Ducha		1.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Tina		1.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Urinario	Con tanque	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Urinario	Con válvula semiautomática y automática	5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	2.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Urinario	Múltiple (por m)	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA

*Nota: El valor de pérdida de carga específica será definida por el proyectista según sus criterios.

Tabla 4

Configuración al conector del sistema de agua caliente del aparato uso privado.

APARATO SANITARIO	TIPO	UNIDADES DE APARATO (UH)	CONFIGURACIÓN DE FLUJO	DIRECCIÓN DE FLUJO	MÉTODO DE PÉRDIDA	CLASIFICACIÓN DE SISTEMA
Inodoro	Con tanque - descarga reducida	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Inodoro	Con tanque	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Bidé	-	0.75	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Lavatorio	-	0.75	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Lavadero	-	2	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Ducha	-	1.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Tina	-	1.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Urinario	Con tanque	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Urinario	Con válvula semiautomática y automática	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Urinario	Múltiple (por m )	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA

*Nota: El valor de pérdida de carga específica será definida por el proyectista según sus criterios.

Tabla 5

Configuración al conector del sistema de agua fría del aparato para uso público.

APARATO SANITARIO	TIPO	UNIDADES DE APARATO (UH)	CONFIGURACIÓN DE FLUJO	DIRECCIÓN DE FLUJO	MÉTODO DE PÉRDIDA	CLASIFICACIÓN DE SISTEMA
Inodoro	Con tanque - descarga reducida	2.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Inodoro	Con tanque	5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática	8	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	4	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Lavatorio	Corriente	1.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Lavatorio	Múltiple	1.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Lavadero	Hotel restaurante	3	-	-	-	AGUA FRÍA SANITARIA
Lavadero	-	2	-	-	-	AGUA FRÍA SANITARIA
Ducha	-	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Tina	-	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Urinario	Con tanque	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Urinario	Con válvula semiautomática y automática	5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	2.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Urinario	Múltiple (por m)	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Bebedero	Simple	1	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA
Bebedero	Múltiple	1*	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA FRÍA SANITARIA

*Nota: El valor de pérdida de carga específica será definida por el proyectista según sus criterios.

Tabla 6

Configuración al conector del sistema de agua caliente del aparato para uso público.

APARATO SANITARIO	TIPO	CONFIGURACIÓN AL CONECTOR DEL SISTEMA DE AGUA CALIENTE				
		UNIDADES DE APARATO (UH)	CONFIGURACIÓN DE FLUJO	DIRECCIÓN DE FLUJO	MÉTODO DE PÉRDIDA	CLASIFICACIÓN DE SISTEMA
Inodoro	Con tanque - descarga reducida	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Inodoro	Con tanque	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Lavatorio	Corriente	1.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Lavatorio	Múltiple	1.5	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Lavadero	Hotel restaurante	3	-	-	-	AGUA CALIENTE SANITARIA
Lavadero	-	2	-	-	-	AGUA CALIENTE SANITARIA
Ducha	-	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Tina	-	3	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Urinario	Con tanque	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Urinario	Con válvula semiautomática y automática	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA

Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
			Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Urinario	Múltiple (por m )	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Bebedero	Simple	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA
Bebedero	Múltiple	.....	Unidades de Aparatos	ENTRANTE	P. ESPECÍFICA	AGUA CALIENTE SANITARIA

*Nota: El valor de pérdida de carga específica será definida por el proyectista según sus criterios.

3.2.4 Configuración aplicada a elementos de almacenamiento de agua

3.2.4.1 Configuración de flujo.

- El parámetro "Configuración de flujo" se definió como "Calculado" para permitir que Revit acumule automáticamente las demandas de caudal a medida que el agua fluye desde los conectores de entrada hacia los de salida. Esto asegura que los valores de flujo y presión se ajusten dinámicamente según las características del sistema, incluyendo la altura del tanque elevado y las pérdidas de carga a lo largo del recorrido

3.2.4.2 Dirección de flujo.

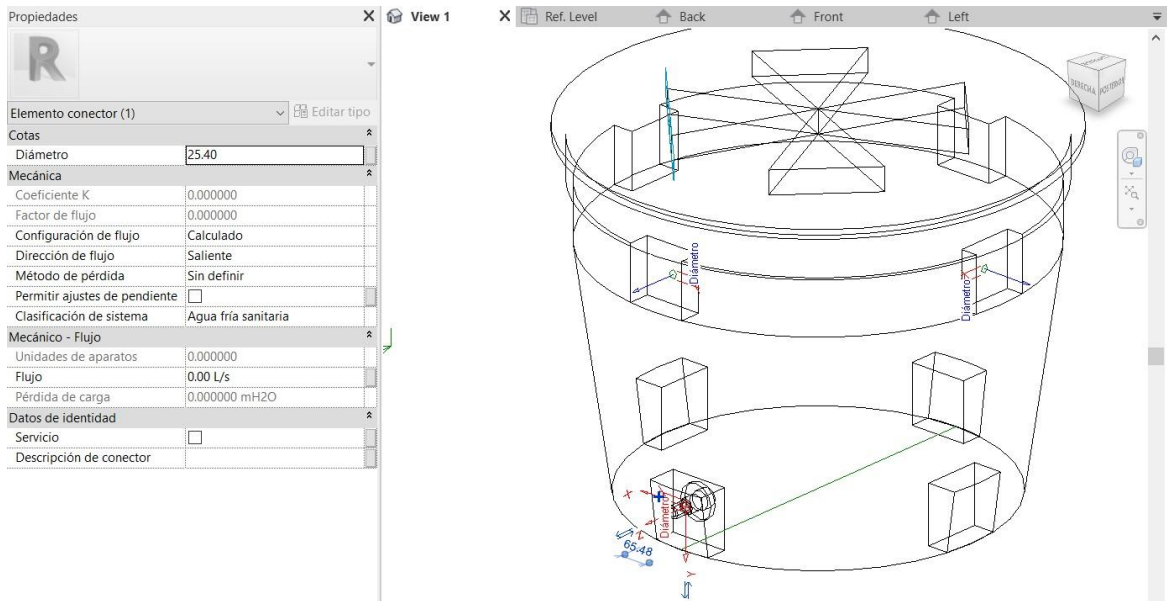
- El conector se configuró con una dirección de flujo saliente para indicar que el agua fluye desde el tanque elevado hacia el sistema de distribución. Esta configuración asegura que el flujo sea correctamente direccionado hacia los aparatos sanitarios y que Revit realice el cálculo acumulativo del caudal disponible en cada tramo aguas abajo. Además, esta dirección de flujo permite que los valores de presión inicial en el tanque (derivados de su altura geométrica) se transmitan al sistema, proporcionando la base para calcular la presión residual en el aparato más desfavorable y verificar el cumplimiento de los requerimientos normativos de presión mínima.

3.2.4.3 Método de pérdida.

- Se seleccionó el método de "Sin definir" para permitir que la presión generada por la altura geométrica del tanque elevado se calcule dinámicamente, asegurando que las pérdidas aguas abajo se consideren automáticamente en el sistema.

Figura 20

Configuración del tanque de almacenamiento de agua.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

3.2.5 Creación de parámetros compartidos

La interacción de datos entre Dynamo y Revit se llevó a cabo mediante la configuración de parámetros específicos. Los resultados obtenidos a través de la programación visual fueron asignados a parámetros diseñados para cada propósito. Para asegurar su correcta interpretación por parte de Dynamo, todos los parámetros fueron definidos como "instancia" en lugar de "tipo".

Asimismo, los parámetros destinados únicamente a brindar información se clasificaron como parámetros de proyecto y se vincularon a la categoría de "información del proyecto". En cambio, aquellos que se utilizarían en tablas o identificadores de anotación fueron configurados como parámetros compartidos, permitiendo su uso transversal en diferentes componentes del modelo.

Tabla 7

Parámetros compartidos – “Lazos de Agua (LDA)”.

Nombre del Parámetro	Tipo de Parámetro	Categoría Asociada	Sección	Tipo
LDA_Nombre del proyecto	Texto	Informaciones de Proyecto	Datos de Identidad	Proyecto
LDA_Tipo de Proyecto (unifamiliar, multifamiliar, etc.)	Texto	Informaciones de Proyecto	Datos de Identidad	Proyecto
LDA_Dotación de Agua del Proyecto	Número	Informaciones de Proyecto	Datos de Identidad	Proyecto
LDA_Área de la cisterna	Número	Informaciones de Proyecto	Datos de Identidad	Proyecto
LDA_Presión de la red de Agua	Número	Informaciones de Proyecto	Datos de Identidad	Proyecto
LDA_Presión Mínima de salida en cisterna	Número	Aparatos Sanitarios	Mecánicos	Proyecto
LDA_Presión Mínima de salida en Tanque Elevado	Número	Aparatos Sanitarios	Mecánicos	Proyecto
LDA_Tiempo de llenado de Cisterna (continuidad)	Número	Informaciones de Proyecto	Datos de Identidad	Proyecto
LDA_Unidades Hunter	Número	Aparatos Sanitarios	Mecánicos	Compartido
LDA_Caudal (l/s)	Número	Tuberías	Mecánicos	Compartido
LDA_Velocidad (m/s)	Número	Tuberías	Mecánicos	Compartido
LDA_Cota de entrada del aparato	Número	Aparatos Sanitarios	Cotas	Compartido
LDA_Presión de salida del aparato desfavorable	Número	Aparatos Sanitarios	Mecánicos	Compartido
LDA_Tramo crítico	Texto	Tuberías, uniones, accesorios y aparatos sanitarios	Mecánicos	Compartido
LDA_Nodo Crítico	Texto	Uniones de tuberías	Mecánicos	Compartido
LDA_Cota de Nodos	Número	Uniones de tuberías	Cotas	Compartido
LDA_Número de codos según diámetro	Número	Uniones de tuberías y accesorios de tubería	Mecánicos	Compartido
LDA_Número de tee según diámetro	Número	Uniones de tuberías y accesorios de tubería	Mecánicos	Compartido
LDA_Número de reducción según diámetro	Número	Uniones de tuberías y accesorios de tubería	Mecánicos	Compartido
LDA_Número de Válvulas compuertas	Número	Uniones de tuberías y accesorios de tubería	Mecánicos	Compartido
LDA_Número de medidores	Número	Uniones de tuberías y accesorios de tubería	Mecánicos	Compartido
LDA_Número de Válvulas check Horizontal	Número	Uniones de tuberías y accesorios de tubería	Mecánicos	Compartido
LDA_Número de Válvulas check Vertical	Número	Uniones de tuberías y accesorios de tubería	Mecánicos	Compartido

3.2.6 Desarrollo de rutinas de programación visual

El diagrama presentado refleja de manera estructurada las fases principales del flujo de trabajo desarrollado para esta investigación, el cual integra herramientas de modelado en Revit y automatización mediante Dynamo. El proceso inicia con la definición de las condiciones iniciales del proyecto, como la selección de normativas (en este caso la IS 0.10 del RNE edición 2021), parámetros compartidos y familias de aparatos sanitarios estandarizados. Posteriormente, se realiza el modelado en Revit de los sistemas de agua fría y caliente, asegurando que las conexiones entre los elementos estén correctamente establecidas. Sin embargo, en este punto se obtiene un modelo predimensionado, pero no validado, ya que parámetros como la altura del tanque elevado, presiones o las velocidades de flujo no han sido evaluados. Estos aspectos serán verificados y ajustados mediante el uso de rutinas en Dynamo.

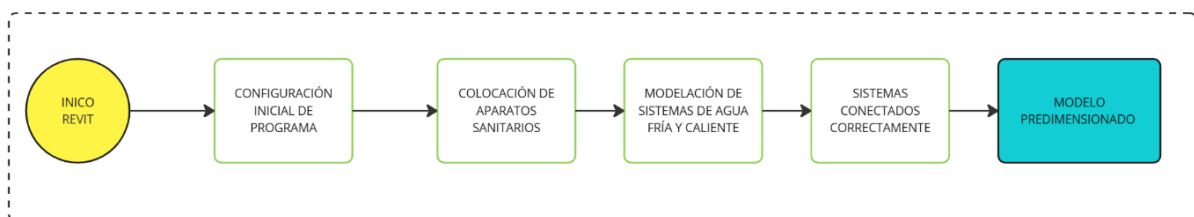
La primera rutina en Dynamo consiste en definir manualmente la fuente de agua y el aparato más desfavorable. Dependiendo del tramo analizado, estos roles varían: para el tramo de cisterna a tanque elevado, la cisterna se define como la fuente y el tanque elevado como el aparato más desfavorable. En otro caso, la red pública sería la fuente y la cisterna el aparato, mientras que el tramo final analiza el tanque elevado y el aparato sanitario más desfavorable. Para esta investigación, se trabajó el tramo desde el tanque elevado hasta el aparato más desfavorable, debido a la similitud en los principios de cálculo con los otros tramos. Esta rutina identifica la ruta entre los dos elementos seleccionados y llena el parámetro "LDA_Tramo Crítico" en todos los elementos que la componen (tuberías y uniones).

En la siguiente rutina, se automatiza el llenado de información en los parámetros compartidos relacionados con cada tramo, como el número de codos, tees, reducciones y

válvulas. Además, otros parámetros compartidos, como cotas, unidades Hunter, caudales y velocidades, son calculados mediante una rutina que transfiere datos propios del sistema a los parámetros compartidos, utilizando fórmulas para calcular aspectos clave como velocidad y pérdida de carga. Este enfoque garantiza que cada tramo del sistema sea evaluado de forma individual y bajo los criterios normativos establecidos, optimizando así el diseño y la operatividad del sistema hidráulico modelado.

Figura 21

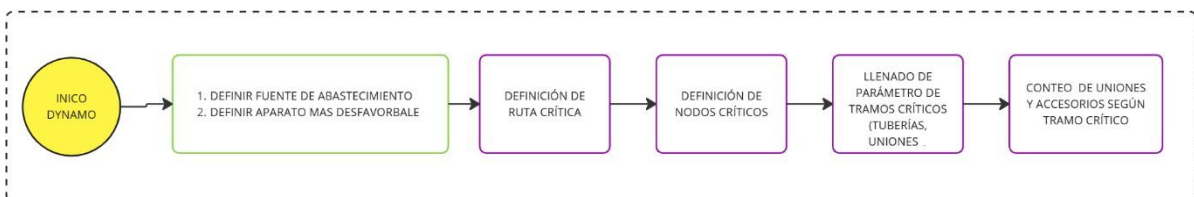
Diagrama de flujo de modelado en revit 2021.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 22

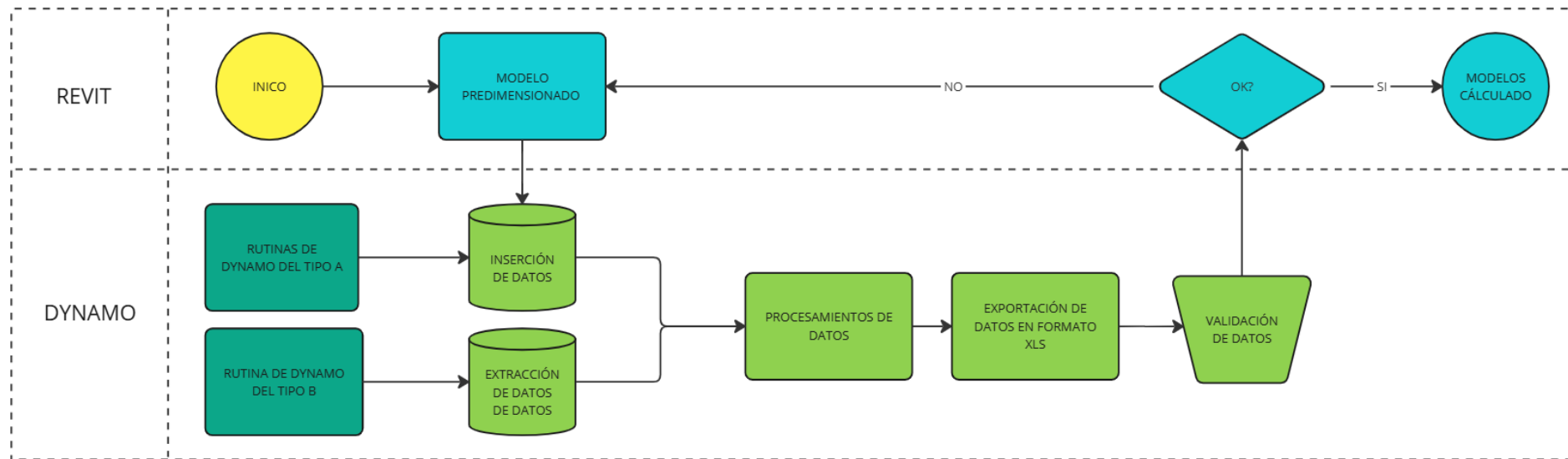
Diagrama de flujo de rutinas de Dynamo.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 23

Diagrama de flujo de integración de modelado y Dynamo.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

3.2.6.1 Rutina de generación de ruta crítica en Dynamo.

Selección del tanque de Almacenamiento.

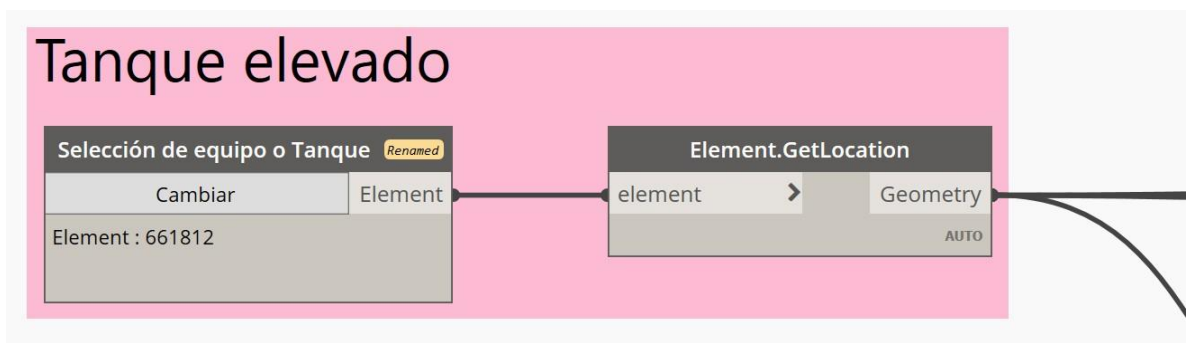
El proceso para la identificación de la ruta crítica comienza con la selección del Tanque de almacenamiento, elemento fundamental para establecer el punto de inicio de la red hidráulica. Este paso inicial asegura que el análisis se centre en el origen del flujo dentro del sistema, permitiendo determinar con precisión las conexiones y relaciones subsiguientes en la red.

Mediante el nodo personalizado "Selección de equipo o Tanque", se selecciona manualmente el tanque elevado dentro del modelo de Revit. Este nodo identifica el elemento a través de su ID único, el cual fue definido por el mismo programa. La selección manual permite que el análisis se adapte a diferentes proyectos y configuraciones del sistema.

Una vez seleccionado el tanque elevado, se utiliza el nodo Element.GetLocation para obtener la ubicación geométrica del elemento. Este nodo devuelve la geometría asociada, que puede incluir puntos de referencia o formas que definen la posición exacta del tanque dentro del modelo. Esta información es crucial para trazar las conexiones hidráulicas desde el origen hasta los demás componentes del sistema.

Figura 24

Script: selección de tanque de almacenamiento.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Selección del Aparato crítico

Se desarrolló una rutina en dynamo para determinar el punto crítico dentro del sistema analizado, utilizando nodos específicos para procesar la geometría y calcular las coordenadas del punto. A continuación, se detalla el procedimiento, los nodos empleados, y los datos de entrada y salida.

1. Selección del Elemento Crítico

- **Nodo utilizado:** Element.SetParameterByName
- **Input:** Element (Elemento identificado con el ID)
- **Output:** El elemento seleccionado del modelo.

Este nodo permite seleccionar el elemento correspondiente al punto final de la ruta crítica en el sistema.

2. Extracción de Geometría

- **Nodo utilizado:** Element.GetLocation
- **Input:** Element (Elemento previamente seleccionado)
- **Output:** La geometría asociada al elemento (en este caso, una curva).

Este nodo extrae la ubicación geométrica del elemento seleccionado.

3. Obtención de Puntos Inicial y Final

- **Nodos utilizados:** Curve.StartPoint y Curve.EndPoint

- **Input:** Curve (Geometría obtenida del nodo anterior)
- **Output:**
 - Punto de inicio (Start Point)
 - Punto final (End Point)

Estos nodos descomponen la geometría en sus puntos extremos.

4. Extracción de Coordenadas XYZ

- **Nodos utilizados:** Point.X, Point.Y, y Point.Z
- **Input:** Point (Puntos obtenidos en el paso anterior)
- **Output:** Coordenadas individuales de los puntos:
 - **X:** Coordenada horizontal
 - **Y:** Coordenada vertical
 - **Z:** Coordenada de elevación

5. Cálculo del Punto Crítico

- **Nodo utilizado:** Code Block
- **Input:** Coordenadas iniciales (**INICIO**) y finales (**FIN**) de los puntos.
- **Output:** Coordenadas del punto crítico.

Este bloque evalúa si el punto crítico corresponde directamente al inicio (en caso de ser iguales) o calcula un punto promedio entre el inicio y el fin.

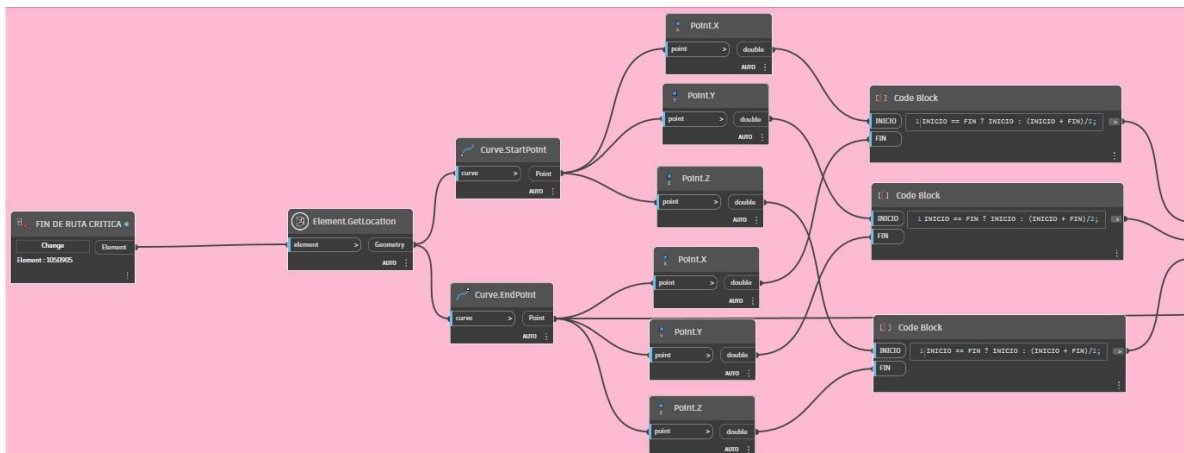
6. Agrupación de Resultados

- **Nodo utilizado:** List.Create
- **Input:** Coordenadas X, Y y Z del punto crítico.
- **Output:** Una lista con las coordenadas completas del punto crítico.

Este nodo organiza los resultados para su uso posterior en el modelo o en cálculos adicionales.

Figura 25

Script: selección del aparato crítico del sistema.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Filtrado de Tuberías de Agua Fría.

. Este proceso es fundamental para enfocar el análisis en un tipo específico de sistema hidráulico, facilitando la identificación de tramos críticos para el cálculo hidráulico y la planificación.

En el **script desarrollado en Dynamo**, se implementa una secuencia de nodos diseñada para filtrar las tuberías que pertenecen al sistema de agua fría sanitaria. El procedimiento se detalla a continuación:

❖ Definición de la Categoría:

- Mediante un nodo **Code Block**, se especifica la categoría "Pipes" (tuberías), que representa todos los elementos de tuberías modelados en Revit.
- Esta información se pasa al nodo **Category.ByName**, que convierte el nombre de la categoría en un objeto interpretable dentro del entorno Dynamo-Revit.

❖ Obtención de Elementos de la Categoría:

- El nodo **All Elements of Category** recupera todos los elementos pertenecientes a la categoría "Pipes" desde el modelo de Revit.
- Esto proporciona una lista inicial de todas las tuberías sin ningún tipo de filtro.

❖ Obtención de Valores de Parámetros:

- El nodo **Element.GetParameterValueByName** se utiliza para extraer los valores de un parámetro específico, que en este caso es "System Type". Este parámetro

indica el tipo de sistema al que pertenece cada tubería (por ejemplo, agua fría, agua caliente, etc.).

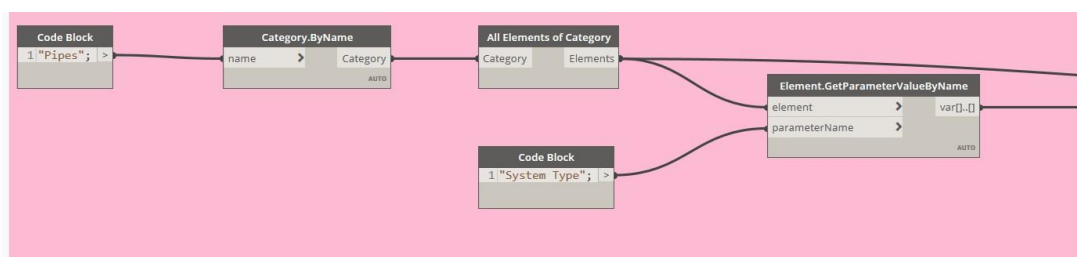
- El valor del parámetro es comparado con el texto "Agua fría sanitaria" utilizando un nodo **Code Block** que define este valor como criterio de filtro.

❖ Filtrado por Condición:

- El nodo **== (Equals)** evalúa si el valor del parámetro "System Type" de cada tubería es igual a "Agua fría sanitaria". Esto genera una lista de valores booleanos (True o False) que indica si cada elemento cumple con la condición.
- El nodo **List.FilterByBoolMask** utiliza esta lista booleana como una máscara para dividir los elementos:
 - La salida in contiene las tuberías que cumplen con la condición (Agua fría sanitaria).
 - La salida out contiene las tuberías que no cumplen con la condición.

Figura 26

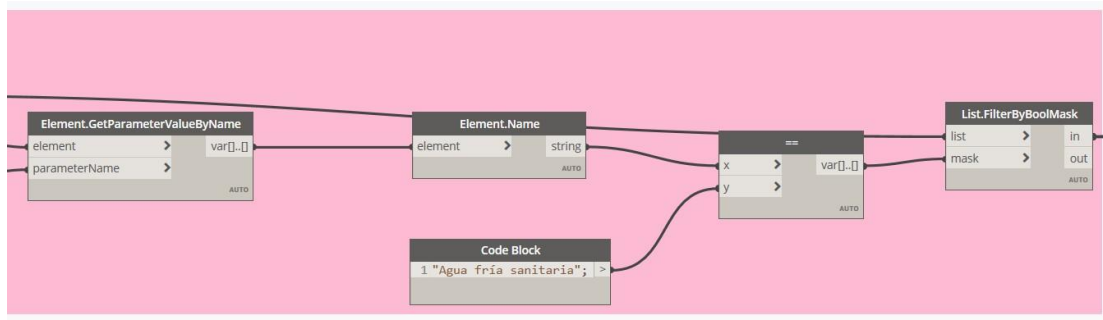
Script: obtener tuberías de agua fría - Parte 01.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 27

Script: obtener tuberías de agua fría - Parte 02.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Este filtrado es esencial para reducir el alcance del análisis a las tuberías relevantes para el sistema de agua fría sanitaria. Al identificar únicamente estas tuberías, se garantiza que los cálculos hidráulicos y las evaluaciones críticas se realicen de manera precisa, minimizando el riesgo de incluir elementos no relacionados.

Filtrado de Conectores del Sistema de Agua Fría.

Un paso crítico en el análisis de una red hidráulica es identificar los conectores del sistema que participan en el flujo de agua fría sanitaria. Los conectores, como codos, uniones, tees y reducciones, son componentes esenciales que conectan las tuberías y permiten dirigir el flujo en la red.

En el **script desarrollado en Dynamo**, se utiliza una secuencia de nodos para filtrar específicamente los conectores que pertenecen al sistema de agua fría sanitaria en el modelo BIM. Este proceso incluye los siguientes pasos:

1. Definición de la Categoría:

- A través del nodo **Code Block**, se define la categoría "Pipe

Fittings", que corresponde a todos los conectores o accesorios de tuberías en el modelo de Revit.

- Esta categoría se transforma en un objeto interpretable por Dynamo utilizando el nodo **Category.ByName**.

2. Obtención de Elementos de la Categoría:

- El nodo **All Elements of Category** extrae todos los conectores presentes en la categoría "Pipe Fittings" desde el modelo de Revit. Esta lista inicial incluye todos los accesorios sin discriminar por tipo de sistema.

3. Extracción de Parámetros de los Conectores:

- Mediante el nodo **Element.GetParameterValueByName**, se obtiene el valor del parámetro "System Type" para cada conector. Este parámetro identifica a qué sistema pertenece cada conector (por ejemplo, agua fría, agua caliente, etc.).
- Un nodo **Code Block** define el valor específico "Agua fría sanitaria", que servirá como criterio de filtrado.

4. Comparación y Filtrado:

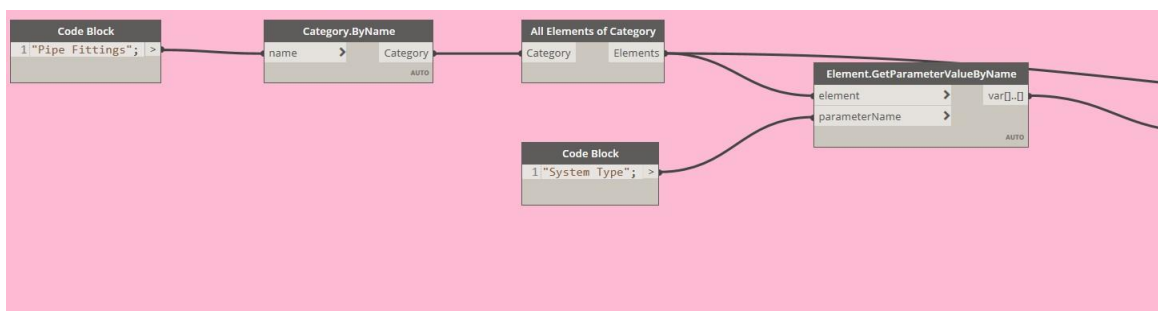
- El nodo **== (Equals)** compara el valor del parámetro "System Type" con el texto "Agua fría sanitaria". Esto genera una lista booleana (True o False) que indica si cada conector pertenece al sistema de agua fría.
- El nodo **List.FilterByBoolMask** utiliza esta máscara booleana para dividir los conectores en dos grupos:

- **in:** Conectores que pertenecen al sistema de agua fría sanitaria.
- **out:** Conectores que no cumplen con el criterio.

El filtrado de conectores asegura que únicamente se analicen los accesorios relevantes para el sistema de agua fría sanitaria. Esto es esencial para garantizar la precisión en el cálculo de la ruta crítica y optimizar el diseño de la red. Además, integrar esta información dentro de un entorno BIM permite vincular parámetros de los conectores con otros componentes del modelo, como las tuberías, para obtener un análisis integral del sistema.

Figura 28

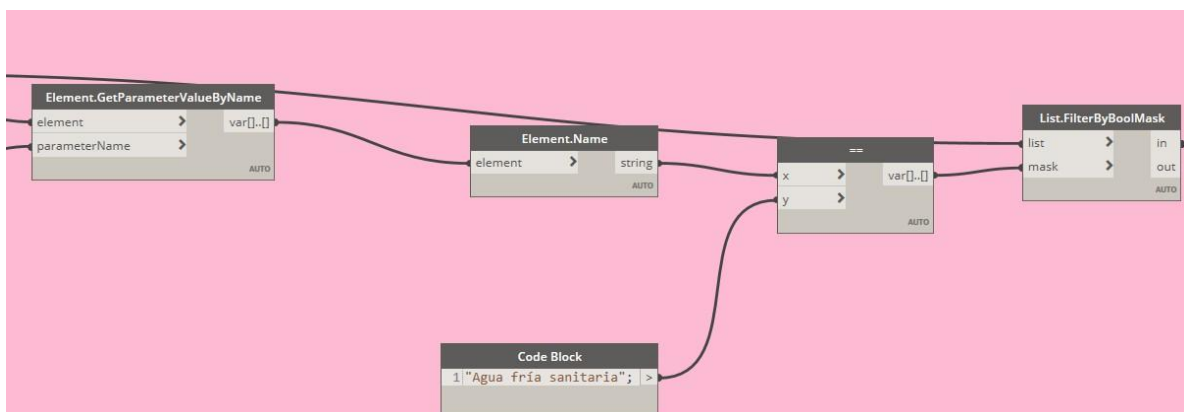
Script: obtener conectores - Parte 01.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 29

Script: obtener conectores - Parte 02.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Determinación de la Conexión Inicial del Sistema Hidráulico.

En el análisis de la ruta crítica de una red hidráulica, es fundamental establecer la conexión inicial entre el tanque elevado y el sistema de tuberías. Este bloque del script en Dynamo se enfoca en identificar la tubería más cercana al tanque elevado y trazar una línea que represente esta conexión, sirviendo como el punto de partida para el flujo de agua en el sistema.

El proceso comienza utilizando la geometría del tanque elevado y las geometrías filtradas de las tuberías de agua fría sanitaria obtenidas en el paso anterior. El primer nodo calcula la distancia entre la ubicación del tanque y cada elemento de las tuberías. Posteriormente, estas distancias son ordenadas para identificar el elemento más cercano.

Una vez identificada la tubería más cercana, se extrae el punto exacto dentro de su geometría que está más próximo al tanque elevado. Finalmente, se genera una línea que conecta la ubicación del tanque con este punto, definiendo así la conexión inicial entre el origen del sistema y la red de tuberías.

1. Nodo: Geometry.DistanceTo

Este nodo calcula la distancia entre el tanque elevado (punto de inicio) y cada uno de los elementos de las tuberías de agua fría.

Entrada:

- geometry: Ubicación del tanque elevado.
- other: Geometría de las tuberías.

Salida: Una lista de distancias que indica qué tan lejos está el tanque de cada elemento de las tuberías.

2. Nodo: List.SortIndexByValue

Ordena la lista de geometrías de las tuberías en función de las distancias calculadas.

Entrada:

- list: Lista de tuberías.
- value: Lista de distancias calculadas.

Salida: Una lista ordenada de índices que permite organizar las geometrías de las tuberías desde la más cercana hasta la más lejana.

3. Nodo: List.FirstItem

Extrae la geometría del elemento más cercano al tanque elevado (es decir, la primera en la lista ordenada).

- **Salida:** El primer elemento (el más cercano) que conectará el tanque con la red.

4. Nodo: Geometry.ClosestPointTo

Identifica el punto exacto en la geometría del elemento más cercano que está más próximo al tanque elevado.

Entrada:

- geometry: La geometría del tanque elevado.
- other: El elemento más cercano obtenido previamente.

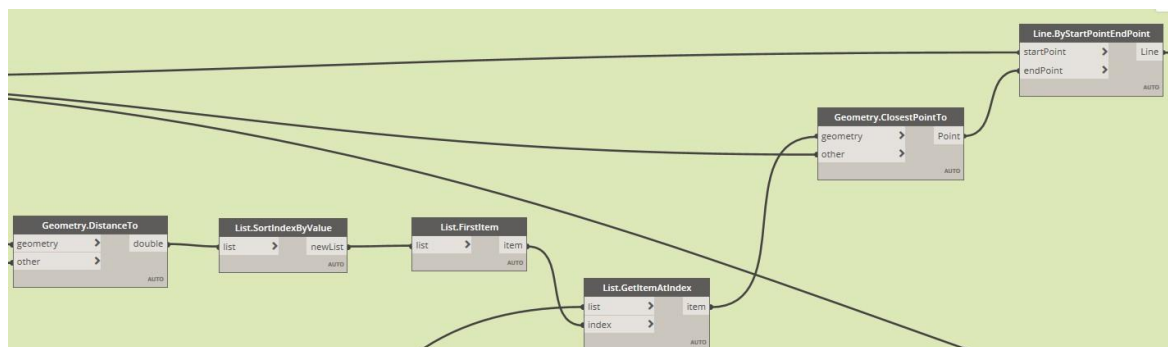
Salida: El punto más cercano de conexión.

5. Nodo: Line.ByStartPointEndPoint

- Genera una línea que conecta el tanque elevado (punto de inicio) con el punto más cercano en la geometría de las tuberías.
- **Entrada:**
 - startPoint: La ubicación del tanque elevado.
 - endPoint: El punto más cercano en la red de tuberías.
- **Salida:** Una línea que representa la conexión entre el tanque elevado y la red.

Figura 30

Script: conexión inicial del sistema hidráulico.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Generación de Líneas para Conexión entre Conectores.

Este bloque de nodos tiene como objetivo transformar los conectores filtrados en representaciones geométricas en forma de líneas, que posteriormente se utilizarán para modelar y analizar la continuidad del sistema hidráulico. La generación de estas líneas permite conectar los distintos puntos de la red de manera eficiente, facilitando tanto la visualización como los cálculos asociados.

1. Entrada de Conectores Filtrados:

- La entrada principal proviene del filtro de conectores desarrollado previamente. En este punto, se tienen los elementos conectores que pertenecen al sistema de agua fría sanitaria.

2. Extracción de Coordenadas de los Conectores:

- El nodo central utiliza un bloque de código que implementa la función `Math.Average` para calcular el punto promedio en el espacio tridimensional. Esta función toma las coordenadas (x, y, z) de cada conector y determina un punto central para cada grupo de conectores, lo que representa su ubicación media.

3. Generación de Puntos:

- Con las coordenadas promedio, se crean puntos específicos en el espacio utilizando el nodo **Point.ByCoordinates**. Esto convierte los valores numéricos en entidades geométricas reconocidas dentro de Dynamo.

4. Creación de Líneas entre Conectores:

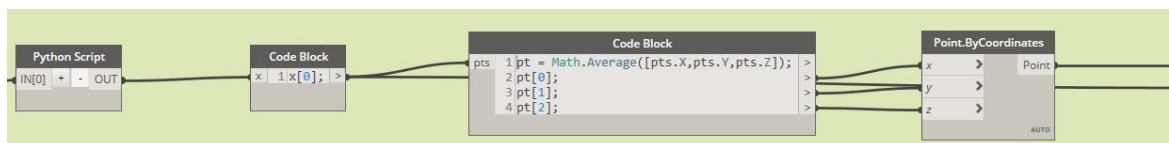
- El nodo **Line.ByStartPointEndPoint** genera líneas entre puntos consecutivos, representando las conexiones físicas entre los conectores de la red.
- Estas líneas son esenciales para trazar las conexiones geométricas que luego se utilizarán para cálculos hidráulicos y simulaciones.

5. Listado de Líneas:

- Finalmente, las líneas creadas son organizadas en una lista, lo que facilita su manejo en procesos posteriores del script.

Figura 31

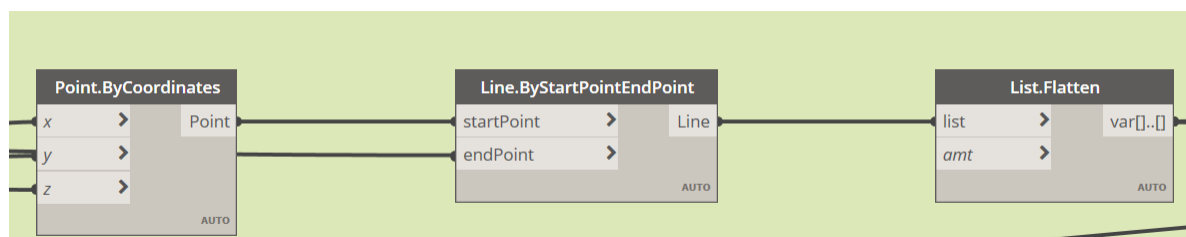
Script: generación de líneas para conexión Parte 01.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 32

Script: generación de líneas para conexión Parte 02.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Unión de elementos del sistema Hidráulico.

El nodo presentado en esta sección del script, **List.Join**, tiene como finalidad combinar las diferentes listas de elementos geométricos del sistema hidráulico en una única lista consolidada. Esto permite integrar todas las partes del sistema (tuberías, conectores y la conexión inicial desde el tanque elevado) en un solo conjunto para su posterior análisis o visualización dentro del modelo.

1. Entrada 1 (Conexión Inicial):

- Esta entrada proviene del nodo **Line.ByStartPointEndPoint** de la determinación de la conexión inicial. Aquí se incluyen las líneas generadas que conectan el tanque elevado con el punto más cercano de las tuberías de agua fría.

2. Entrada 2 (Tuberías de Agua Fría):

- Esta entrada corresponde a los elementos obtenidos previamente a través del nodo **List.FilterByBoolMask**. Incluye las tuberías filtradas que pertenecen al sistema de agua fría sanitaria.

3. Entrada 3 (Conexiones como Líneas):

- Esta entrada proviene del nodo **List.Flatten** del bloque que genera las conexiones entre los conectores como líneas. Aquí se incluyen las representaciones geométricas de los conectores del sistema, convertidos en líneas.

4. **Nodo: List.Join:**

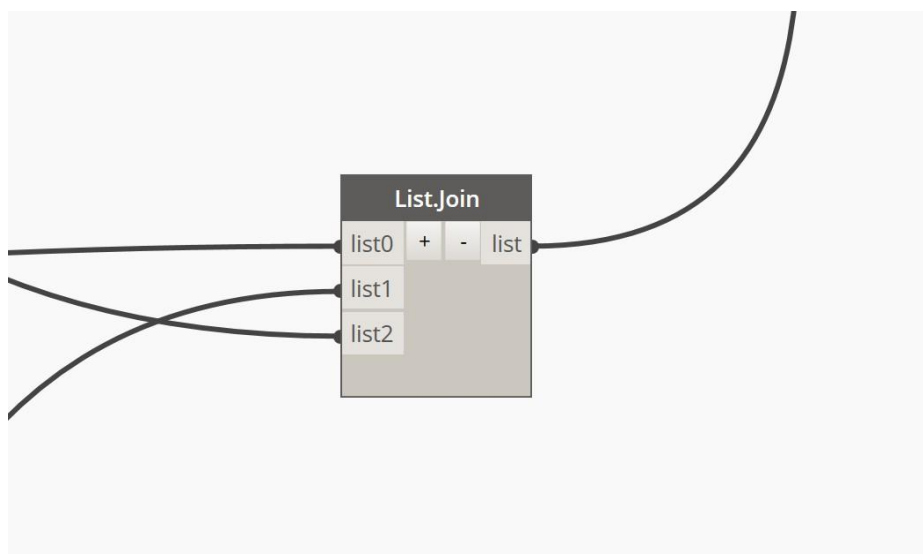
- Este nodo toma las tres listas de entrada y las combina en una sola lista.

Cada elemento se mantiene en su formato original (líneas o geometrías) pero ahora se encuentran agrupados en un solo conjunto.

- **Salida:**
 - Una lista consolidada que incluye:
 - La conexión inicial desde el tanque elevado.
 - Las tuberías de agua fría.
 - Las conexiones generadas a partir de los conectores.

Figura 33

Script: Unión de elementos del Sistema Hidráulico.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Identificación de las tuberías de la ruta crítica.

Este bloque del script tiene como propósito final determinar qué elementos del sistema hidráulico forman parte del camino más importante dentro de la red, conocido como la ruta crítica. Este análisis es esencial para garantizar la continuidad del flujo hidráulico desde el tanque elevado hasta las tuberías y conectores finales, evaluando cuáles son los tramos que afectan directamente el funcionamiento del sistema.

1. Nodo: Python Script

El nodo Python Script desempeña un papel fundamental en la identificación de la ruta crítica dentro del sistema hidráulico, ya que realiza el análisis computacional necesario para evaluar las conexiones entre los elementos y determinar el camino más largo y continuo desde el tanque elevado hacia los puntos más alejados de la red. El script tiene tres objetivos principales dentro del análisis de la ruta crítica:

- **Normalizar nodos y líneas:** Garantiza que los puntos y líneas estén organizados para evitar redundancias y que se manejen como un grafo (red de nodos conectados).
- **Construir el grafo:** Representa las conexiones entre los elementos hidráulicos como una red dirigida, donde las tuberías y conectores son los "vértices" y las conexiones físicas son las "aristas".
- **Determinar el camino más largo:** Utiliza un algoritmo de búsqueda en profundidad (DFS) para encontrar la ruta crítica, que es el camino más largo dentro del grafo.

1.1. Explicación Detallada del Código

- **Importación de Bibliotecas:**
 - El script utiliza bibliotecas como ProtoGeometry de Dynamo y defaultdict de Python para manejar geometrías y listas de manera eficiente.

- **Normalización de Puntos (normalize_points):**
 - Agrupa puntos cercanos (dentro de una tolerancia) en nodos únicos, eliminando redundancias.

 - Relación con la ruta crítica:
 - Este paso asegura que las conexiones en la red sean consistentes y evita considerar puntos que representan el mismo nodo.

- **Construcción del Grafo (build_normalized_graph):**
 - Extrae puntos iniciales y finales de las líneas de conexión, normaliza estos puntos y organiza las conexiones en una estructura de grafo.

 - Relación con la ruta crítica:
 - Transforma las tuberías y conectores en un modelo matemático de red que facilita la búsqueda del camino más largo.

- **Algoritmo DFS para la Ruta Crítica (find_longest_path_dfs):**

- Realiza un recorrido en profundidad en el grafo para encontrar la ruta más larga en términos de longitud total.
- Variables clave:
 - current_length: Longitud acumulada de la ruta actual.
 - longest_path: Guarda el conjunto de líneas que forman la ruta más larga encontrada.
- Relación con la ruta crítica:
 - Este es el núcleo del análisis. Determina qué elementos del sistema forman parte del camino más largo y, por lo tanto, de la ruta crítica.

- **Cálculo del Nodo Más Cercano:**

- Identifica el nodo normalizado más cercano al tanque elevado.
- Relación con la ruta crítica:
 - Garantiza que el análisis comience desde el origen correcto en el sistema.

- **Salida del Script:**

- Devuelve:
 - Una lista de líneas que forman parte de la ruta crítica (output_lines).

- La longitud total de la ruta crítica (total_length).
- Relación con la ruta crítica:
 - Estos resultados son la base para visualizar y comprender la ruta crítica dentro del modelo BIM.

Figura 34

Python script parte 01.

```

Python Script
1 import clr
2 clr.AddReference('ProtoGeometry')
3 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
4 from collections import defaultdict
5
6 # Inputs: punto de inicio, lista de líneas
7 start_point = IN[0] # Punto inicial (Point)
8 lines = IN[1] # Lista de líneas (List[Line])
9 tolerance = 0.01 # Tolerancia para considerar puntos cercanos como conectados
10
11 def normalize_points(points, tolerance):
12     """
13     Agrupa puntos cercanos dentro de una tolerancia en nodos únicos.
14     """
15     normalized_nodes = []
16     point_to_node_map = {}
17
18     for point in points:
19         # Busca un nodo ya existente cercano al punto actual
20         for node in normalized_nodes:
21             if point.DistanceTo(node) <= tolerance:
22                 point_to_node_map[point] = node
23                 break
24         else:
25             # Si no encuentra un nodo cercano, crea uno nuevo
26             normalized_nodes.append(point)
27             point_to_node_map[point] = point
28
29     return normalized_nodes, point_to_node_map
30
31 def build_normalized_graph(lines, tolerance):
32     """
33     Construye un grafo no dirigido usando nodos normalizados.
34     """
35     # Extraer todos los puntos finales de las líneas
36     all_points = [line.StartPoint for line in lines] + [line.EndPoint for line in lines]
37
38     # Normalizar los puntos
39     normalized_nodes, point_to_node_map = normalize_points(all_points, tolerance)
40
41     # Crear el grafo con los nodos normalizados
42     graph = defaultdict(list)
43     for line in lines:
44         start_node = point_to_node_map[line.StartPoint]
45         end_node = point_to_node_map[line.EndPoint]
46         graph[start_node].append((end_node, line.Length, line))
47         graph[end_node].append((start_node, line.Length, line))
48
49     return graph, point_to_node_map
50

```

Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 35

Python script parte 02.

```
def find_longest_path_dfs(graph, start_node):
    """
    Encuentra el camino más largo en el grafo usando DFS modificado.
    """
    def dfs(current_node, current_path, current_length, visited_edges):
        nonlocal longest_path, max_length

        # Actualiza si se encuentra una ruta más larga
        if current_length > max_length:
            max_length = current_length
            longest_path = current_path[:]

        # Explora todos los vecinos del nodo actual
        for neighbor, edge_length, line in graph[current_node]:
            if line not in visited_edges:
                # Marca la línea como visitada
                visited_edges.add(line)
                # Explora más allá del vecino
                dfs(neighbor, current_path + [line], current_length + edge_length, visited_edges)
                # Desmarca la línea (permite otras exploraciones)
                visited_edges.remove(line)

        # Variables para almacenar el mejor resultado
        longest_path = []
        max_length = 0

        # Inicia la búsqueda
        dfs(start_node, [], 0, set())
        return longest_path, max_length

# Construir el grafo con normalización de nodos
graph, point_to_node_map = build_normalized_graph(lines, tolerance)

# Encontrar el nodo normalizado más cercano al punto inicial
closest_node = min(graph.keys(), key=lambda node: start_point.DistanceTo(node))

# Encontrar el camino más largo en el grafo
longest_path, total_length = find_longest_path_dfs(graph, closest_node)

# Salida: Identificar las líneas que forman parte de la ruta construida
output_lines = [line in longest_path for line in lines]

# Output: listado de True/False para cada línea y longitud total de la ruta
OUT = (output_lines, total_length)
```

Fuente: Elaboración Propia (2024)

2. Nodo: Code Block

Define el índice de la primera línea (A[0]) como referencia, para evaluar un subconjunto inicial en el análisis. Este nodo ayuda a establecer un punto de partida lógico dentro del conjunto de datos analizados.

3. Nodo: List.Count

Cuenta el número total de elementos en la lista consolidada. Este conteo se utiliza para dimensionar el análisis y garantizar que se procesen todos los elementos de la lista.

4. Nodo: List.TakeItems

Selecciona un subconjunto de elementos de la lista consolidada, basándose en el resultado del conteo y las condiciones establecidas en el bloque de código. Permite reducir el análisis a un conjunto más manejable de elementos relevantes para la ruta crítica.

5. Nodo: List.FilterByBoolMask

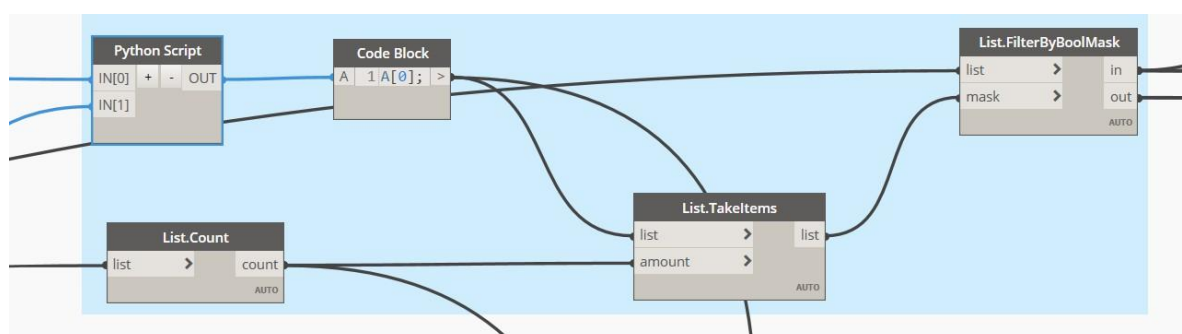
Filtra la lista consolidada en dos conjuntos:

- **in**: Elementos que forman parte de la ruta crítica.
- **out**: Elementos que no afectan directamente la continuidad del flujo.

Este nodo separa de manera explícita los elementos clave del sistema, destacando los tramos críticos en la red.

Figura 36

Identificación de tuberías de ruta crítica.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Identificación de Accesorios en la Ruta Crítica.

El bloque se encarga de analizar los accesorios presentes en el sistema hidráulico y determinar cuáles de ellos están relacionados o son esenciales dentro de la ruta crítica previamente calculada. Este análisis busca incluir accesorios como codos, tees y uniones que sean fundamentales para garantizar la continuidad del flujo en el sistema.

1. Nodo: Element.Location

Obtiene la ubicación geométrica de cada accesorio dentro del modelo.

- **Entradas:** Lista de accesorios (elementos del sistema).

2. Nodo: List.Count

Cuenta el número total de accesorios en la lista.

- **Entradas:** Lista completa de accesorios.

3. Nodo: List.DroplItems

Elimina un subconjunto inicial de elementos de la lista para optimizar el análisis.

- **Entradas:**
 - Lista de accesorios.
 - Cantidad de elementos a eliminar.

4. Nodo: List.TakeItems

Selecciona una cantidad específica de elementos de la lista para centrarse en un subconjunto relevante.

- **Entradas:**
 - Lista restante de accesorios.
 - Cantidad de elementos a tomar.

5. Nodo: Geometry.DistanceTo

Calcula la distancia entre los accesorios y un punto de referencia.

- **Entradas:**
 - geometry: Geometría de los accesorios.
 - other: Punto de referencia o geometría objetivo.

6. Nodo: Comparación (<)

Evalúa si las distancias están dentro de un umbral especificado.

- **Entradas:**
 - Distancias calculadas.
 - Umbral definido

7. Nodo: Code Block

Define un valor numérico como criterio de comparación.

- **Entradas:** Valor umbral (por ejemplo, 10.85).

8. Nodo: List.FilterByBoolMask (Primero)

Clasifica los accesorios según si cumplen o no el criterio de proximidad.

- **Entradas:**
 - Lista de accesorios.
 - Máscara booleana que indica los resultados de la comparación.

9. Nodo: List.AnyTrue

Comprueba si al menos un accesorio cumple con el criterio establecido.

- **Entradas:** Máscara booleana generada.

10. Nodo: List.FilterByBoolMask (Final)

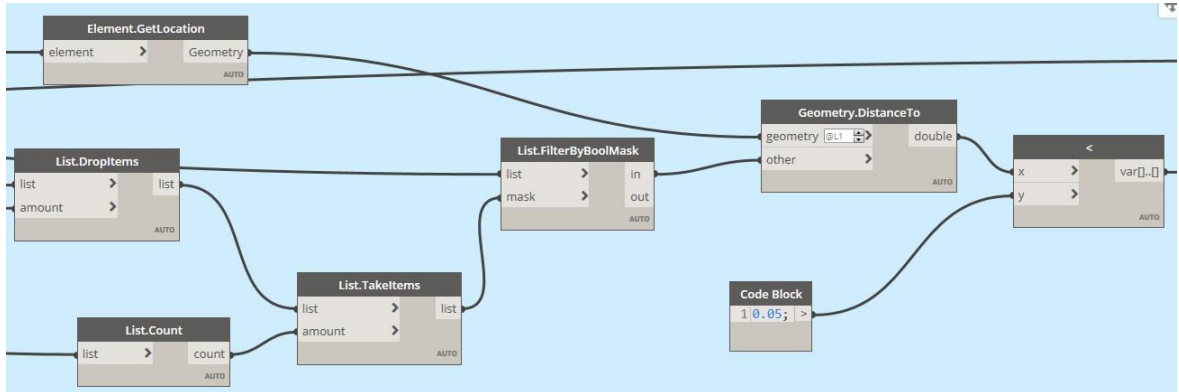
Filtra los accesorios para obtener únicamente aquellos que cumplen con el criterio definido.

- **Entradas:**
 - Lista de accesorios.

- Máscara booleana que filtra los elementos.

Figura 37

Identificación de accesorios en la ruta crítica.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Colorear Tuberías y Llenar Parámetro de Ruta Crítica.

En esta sección se detalla el procedimiento desarrollado en **Dynamo** para asignar colores a las tuberías en función de su clasificación como elementos críticos o no críticos dentro de la "Ruta Crítica". Este proceso permite una identificación visual clara en el modelo BIM, mejorando la comprensión y el análisis del sistema.

1. Creación de una Lista de Elementos

- **Nodo utilizado:** List.Create
- **Input:** Item0 y Item1 (IDs de los elementos seleccionados en el modelo Revit).
- **Output:** Una lista que contiene los elementos que serán procesados.

Este nodo organiza los elementos seleccionados, permitiendo su

agrupación para el procesamiento posterior.

2. Asignación de Colores

- **Nodo utilizado:** Color Palette
- **Input:** Colores definidos (Ejemplo: **Rojo** para elementos críticos y **Azul** para elementos no críticos).
- **Output:** Colores en formato RGB que serán aplicados a los elementos.

Este nodo define los colores utilizados para diferenciar visualmente los elementos en la vista.

3. Sobrescritura de Color en la Vista

- **Nodo utilizado:** Element.OverrideColorInView
- **Input:** Element (Lista de elementos generada en el paso 1) y Color (Color definido en el paso 2).
- **Output:** Los elementos seleccionados aparecen coloreados en la vista activa del modelo.

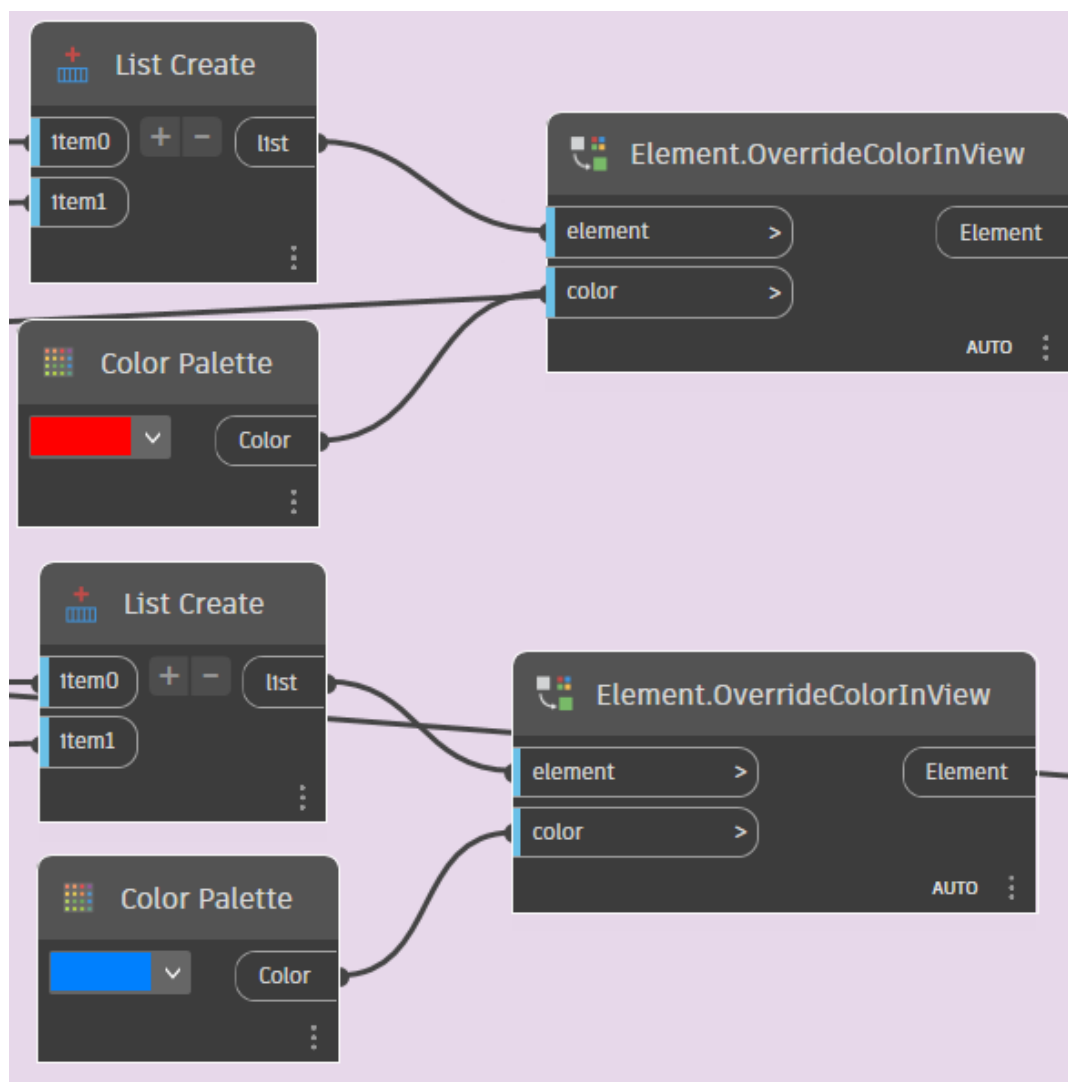
Este nodo modifica la representación gráfica de los elementos en la vista, asignándoles el color correspondiente según su clasificación.

4. Clasificación de Grupos

- El procedimiento se repite para distintos grupos de tuberías, asignando colores únicos a cada clasificación según su importancia en la "Ruta Crítica".

Figura 38

Colorear tuberías y llenar parámetro de ruta crítica.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Rellenar Parámetros de Tramos críticos.

Este procedimiento automatiza el llenado de parámetros específicos en tramos de tuberías, asociándolos con datos predefinidos y dinámicos, optimizando así la gestión de información en modelos BIM. A continuación, se describe la metodología empleada.

5. Definición y selección de tuberías

- **Nodo utilizado:** Code Block
 - **Input:** Lista de tuberías del modelo.
 - **Output:** La última tubería o tramo seleccionado para su procesamiento.

Este nodo identifica los elementos que serán evaluados en el modelo.

6. Comparación de parámetros

- **Nodo utilizado:** ==
 - **Input:** Parámetros de tuberías (como longitud, identificación, etc.).
 - **Output:** Valor lógico (true o false) que indica si un parámetro coincide con los valores establecidos.

Este nodo compara los datos de las tuberías seleccionadas para verificar su estado o clasificación.

7. Validación lógica

- **Nodo utilizado:** List.AnyTrue
 - **Input:** Lista de valores booleanos obtenidos en el paso anterior.
 - **Output:** Valor booleano que indica si alguna condición lógica se cumple.

Este nodo evalúa si alguna de las condiciones definidas es verdadera.

8. Indexación de elementos

- **Nodo utilizado:** List.IndexOf
- **Input:** Lista de tuberías y elemento a buscar.
- **Output:** Índice del elemento dentro de la lista.

Este nodo localiza la posición del tramo en la lista general de tuberías.

9. Asignación de parámetros a los tramos

- **Nodo utilizado:** Element.SetParameterByName
- **Input:** Element (Elemento seleccionado), parameterName ("LDA_Tramo crítico") y value (Nombre del tramo calculado dinámicamente, como "TRAMO 1").
- **Output:** Parámetros actualizados en los elementos seleccionados.

Este nodo asigna automáticamente los valores calculados al parámetro correspondiente.

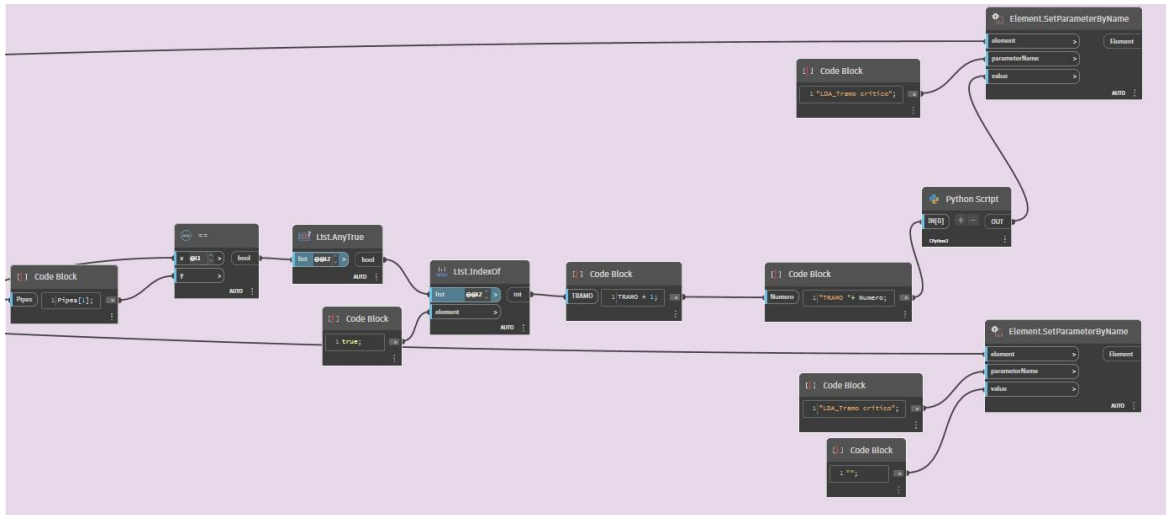
10. Automatización de nombres de tramos

- **Nodo utilizado:** Code Block
- **Input:** Número del tramo anterior.
- **Output:** Nombre dinámico del tramo (Ejemplo: "TRAMO 1", "TRAMO 2").

Este bloque genera los nombres de los tramos de manera automatizada.

Figura 39

Rellenar parámetros de tramos críticos.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Script general de identificación de ruta crítica.

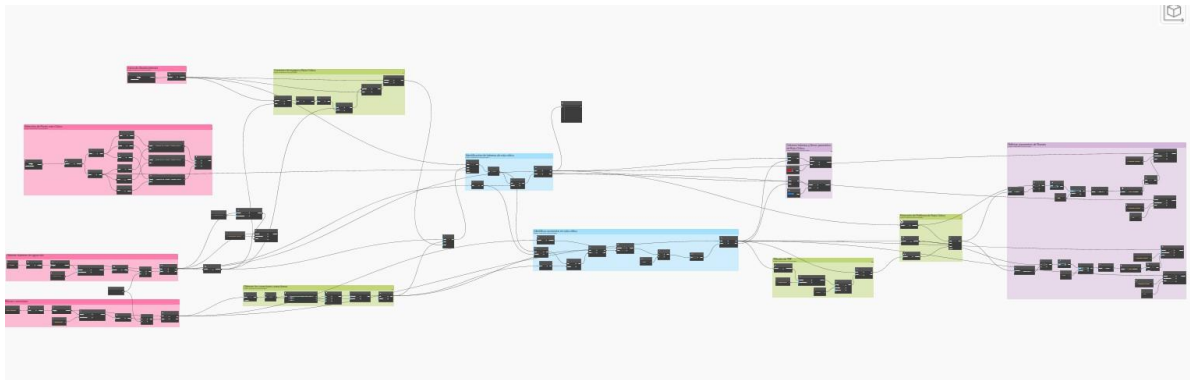
El script desarrollado en Dynamo automatiza la identificación y análisis de la Ruta Crítica en un sistema de tuberías, partiendo de la selección del punto de inicio, que corresponde al punto de abastecimiento, y del punto final, identificado como el aparato crítico. Mediante parámetros predefinidos, se llenó de manera automatizada la información correspondiente a cada tramo de la ruta.

Además, se implementaron técnicas de mejora en la visualización gráfica, asignando colores distintivos a los elementos de la ruta crítica. Este enfoque permite identificar rápidamente los tramos clave, diferenciándolos de otros elementos del sistema. Los colores se aplicaron mediante la sobrescritura gráfica de la vista en el modelo BIM, facilitando su comprensión y análisis por

parte de los equipos de diseño y supervisión.

Figura 40

Script de Identificación de ruta crítica completa.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

3.2.6.2 Cálculo hidráulico de la ruta crítica.

Cálculo de Cota del Primer y Último Tramo.

El script en Dynamo que se detalla a continuación tiene como objetivo identificar y calcular las cotas del primer y último tramo de un sistema de tuberías. Esto es fundamental para el análisis hidráulico, ya que permite determinar las diferencias de nivel entre los puntos de inicio y fin, mejorando la precisión en el diseño y la operación del sistema.

1. Extracción de Geometría

- **Nodo utilizado:** Element.GetLocation
- **Input:** Element (Elemento seleccionado del modelo).
- **Output:** Geometría asociada al elemento, que permite identificar los puntos inicial y final de cada tramo.

Este nodo obtiene las propiedades geométricas de los elementos seleccionados en el modelo.

2. Obtención de Puntos Inicial y Final

- **Nodos utilizados:** Curve.StartPoint y Curve.EndPoint
- **Input:** Curve (Geometría obtenida en el paso anterior).
- **Output:** Punto inicial del tramo y Punto final del tramo.

Estos nodos descomponen la geometría en sus puntos extremos, necesarios para calcular las cotas.

3. Extracción de Coordenadas Z

- **Nodo utilizado:** Point.Z
 - **Input:** Point (Puntos inicial y final obtenidos anteriormente).
 - **Output:** Coordenadas Z de los puntos, que representan las alturas.

Este nodo extrae las cotas de los puntos inicial y final en el sistema de coordenadas tridimensional.

4. Identificación de Cotas Mínima y Máxima

- **Nodos utilizados:** List.MinimumItem y List.MaximumItem
- **Input:** Lista de coordenadas Z.

- **Output:** Cota mínima (correspondiente al punto más bajo del sistema) y cota máxima (correspondiente al punto más alto del sistema).

Estos nodos permiten identificar los valores extremos en la lista de cotas, facilitando el análisis de diferencias de nivel.

5. Validación de Datos

- **Nodo utilizado:** If
- **Input:** Condiciones lógicas basadas en las cotas obtenidas.
- **Output:** Confirmación de los valores válidos o ajustes según las condiciones definidas.

Este nodo asegura la coherencia de los datos calculados.

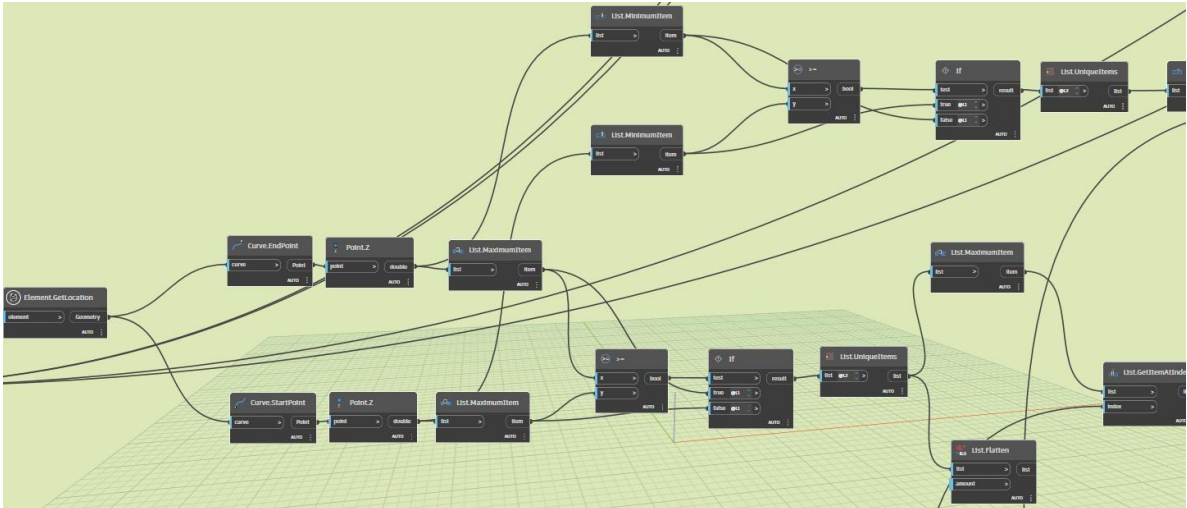
6. Aplanamiento de Listas y Organización

- **Nodos utilizados:** List.UniqueItems y List.Flatten
- **Input:** Listas de cotas.
- **Output:** Listas organizadas y aplanadas para su uso posterior.

Estos nodos optimizan las listas de datos, eliminando redundancias y asegurando su estructura.

Figura 41

Script: cálculo de cota del primer y último tramo.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Cálculo del Caudal en un Sistema de Tuberías.

Este script en Dynamo automatiza el cálculo de caudales en un sistema de tuberías, asignando valores basados en la clasificación de aparatos sanitarios y parámetros predefinidos. La implementación de esta rutina permite una evaluación precisa de los caudales necesarios en cada tramo del sistema, facilitando el análisis hidráulico y optimizando el diseño.

1. Definición de Tipos de Aparatos

- **Nodo utilizado:** Code Block
- **Input:**

Tipo de Aparato: Clasificación de los elementos sanitarios (e.g., tanque, lavatorio, etc.).

- Tanque o Válvula: Valores predefinidos para el caudal unitario según el tipo.
- **Output:** Caudal correspondiente al tipo de aparato.

Este nodo clasifica los aparatos según su tipo y asigna el caudal unitario respectivo, permitiendo un cálculo adaptado a cada caso.

2. Organización de Datos

- **Nodos utilizados:**
 - List (listas de elementos)
 - List.Map (aplicación de funciones a los datos)
- **Input:** Listas de elementos sanitarios y sus parámetros asociados.
- **Output:** Organización y estructuración de datos en listas para su análisis.

Estos nodos aseguran que los datos necesarios para los cálculos estén correctamente organizados y listos para procesar.

3. Condicionales para Validación

- **Nodo utilizado:** If
- **Input:**

- Condiciones basadas en la presencia de un tipo de aparato o valor específico.
- **Output:** Validación de datos o asignación de valores por defecto en caso de ausencia de datos.

Este nodo garantiza que cada aparato tenga un valor asignado, incluso si faltan datos en algunos elementos.

4. Cálculo del Caudal Total

- **Nodo utilizado:** Sum
- **Input:** Lista de caudales unitarios calculados.
- **Output:** Caudal total del sistema.

Este nodo suma los caudales unitarios asignados a cada aparato, proporcionando el valor total de caudal requerido.

5. Visualización de Resultados

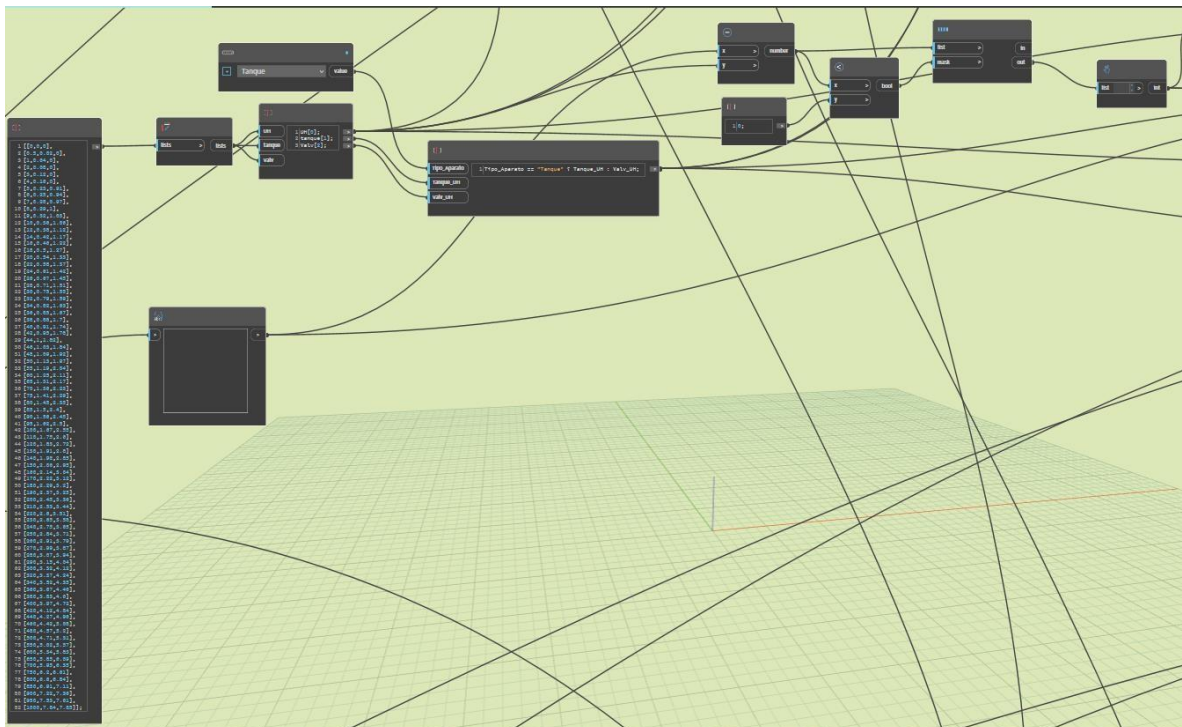
- **Nodos utilizados:**
 - Watch (para mostrar resultados en Dynamo).
 - Code Block (para representar valores calculados).
- **Input:** Listas de datos calculados y valores procesados.

- **Output:** Visualización de los valores en Dynamo.

Estos nodos permiten inspeccionar los valores calculados y garantizar que el procedimiento se haya realizado correctamente.

Figura 42

Script: cálculo del caudal en un sistema de tuberías.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Conteo de Uniones de Tuberías.

En este proceso, se desarrolló un script general en Dynamo para realizar el conteo automático de las diferentes uniones de un sistema de tuberías (codos, tees, válvulas, etc.). Este enfoque optimiza el análisis de cantidades en proyectos BIM, permitiendo identificar y contabilizar cada tipo de unión de manera eficiente y estandarizada.

1. Definición del Tipo de Unión

- **Nodo utilizado:** Code Block
- **Input:** Tipo de unión a buscar (e.g., "CODO", "TEE", "REDUCCIÓN", "VÁLVULA ESFÉRICA", etc.).
- **Output:** Palabra clave que identifica el tipo de unión en los datos del modelo.

Este nodo define el término específico que se utilizará para buscar y contar uniones en la lista de elementos del modelo.

2. Conteo de Ocurrencias

- **Nodo utilizado:** String.CountOccurrences
- **Input:**
 - **String:** Lista de descripciones o nombres de los elementos.
 - **SearchFor:** Palabra clave del tipo de unión definido en el paso anterior.
 - **IgnoreCase:** Valor booleano (true) para ignorar mayúsculas y minúsculas.
- **Output:** Número de veces que aparece el tipo de unión en la lista.

Este nodo identifica todas las ocurrencias del tipo de unión en la lista del modelo.

3. Sumatoria Total

- **Nodo utilizado:** Math.Sum
- **Input:** Lista de cantidades obtenidas del nodo anterior.
- **Output:** Total de uniones del tipo específico.

Este nodo realiza la suma total de las ocurrencias encontradas para calcular el total de uniones.

4. Extracción de Resultados

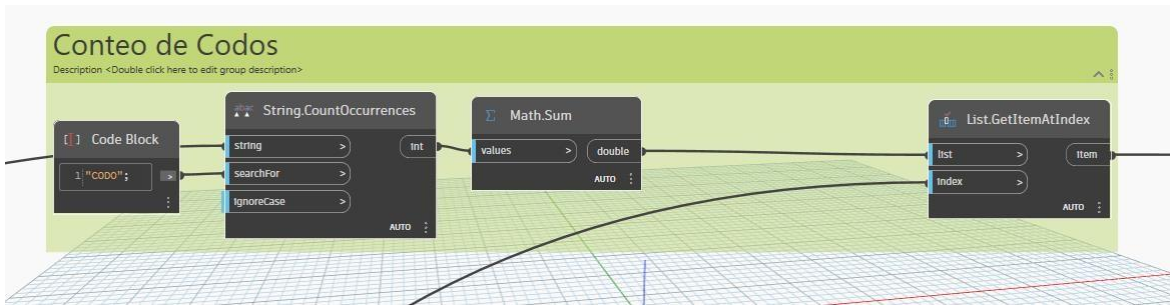
- **Nodo utilizado:** List.GetItemAtIndex
- **Input:**
 - List: Lista de resultados.
 - Index: Índice correspondiente al valor deseado.
- **Output:** Valor individual del conteo.

Este nodo permite visualizar y extraer el conteo específico de un tipo de unión.

Esta metodología asegura un conteo preciso y eficiente, mejorando la gestión de cantidades en proyectos BIM, con aplicaciones tanto en la fase de diseño como en la estimación de costos y planificación de construcción.

Figura 43

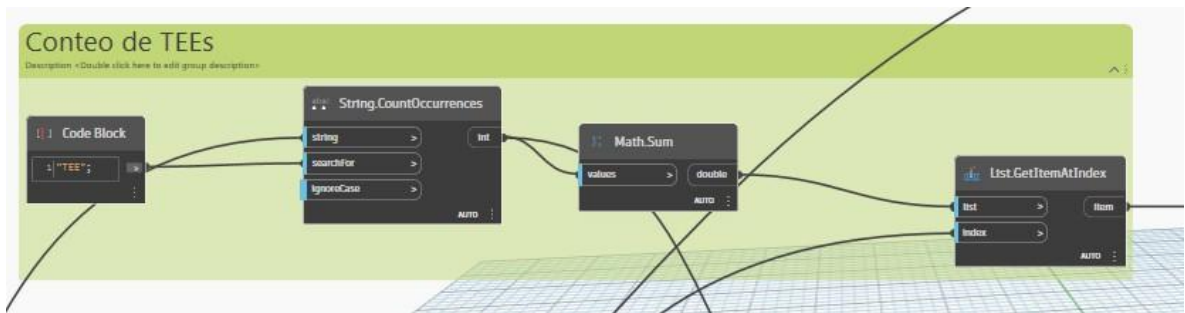
Script: conteo de codos en la ruta crítica.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 44

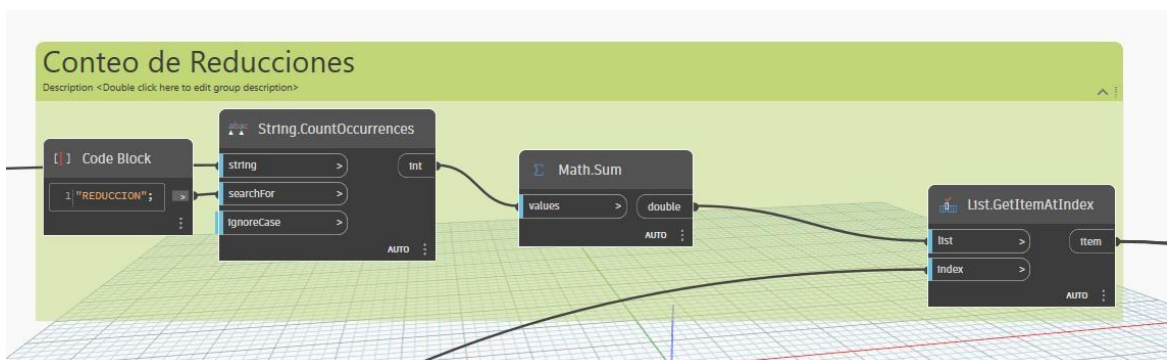
Script: conteo de tees en la ruta crítica.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 45

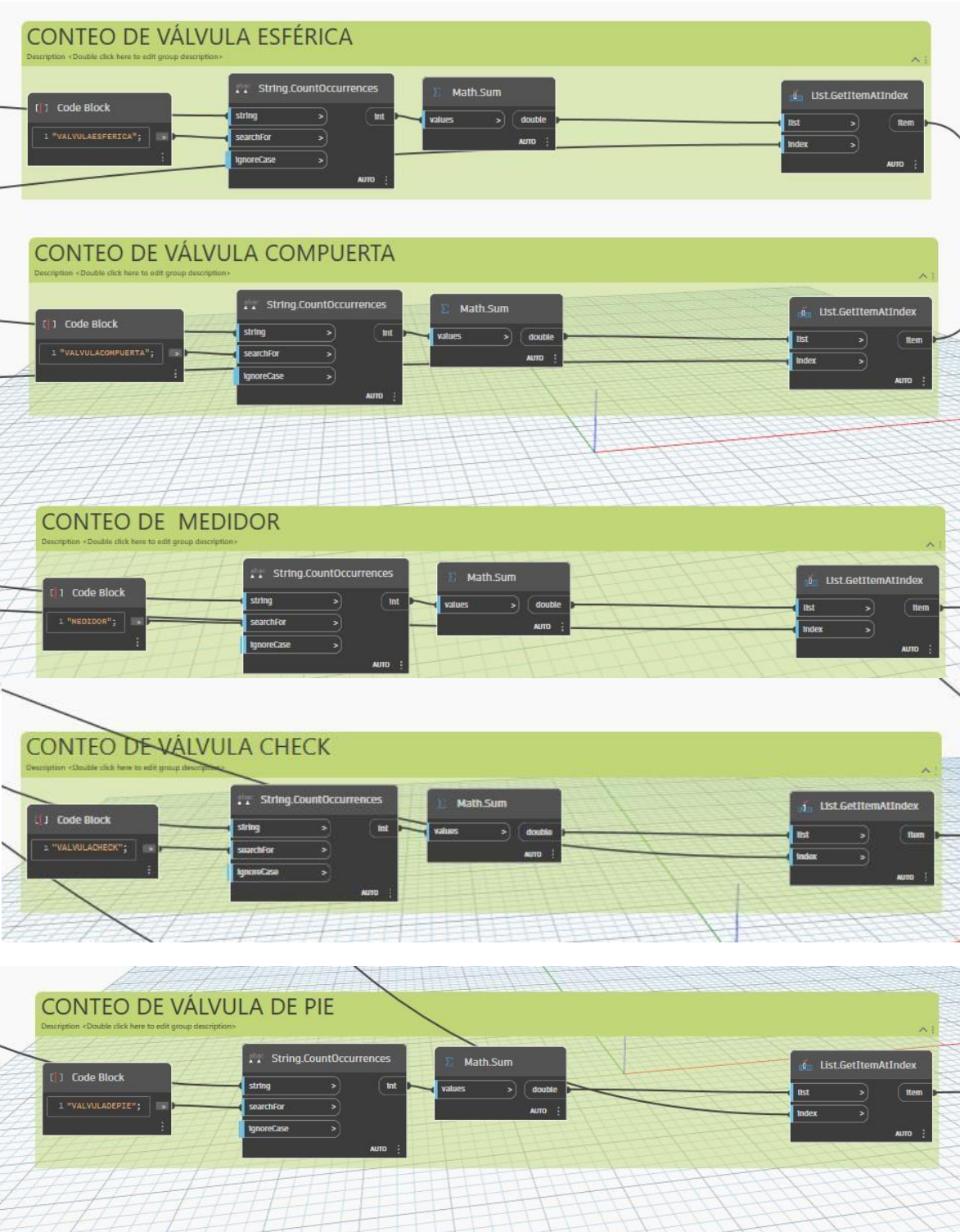
Conteo de reducciones en la ruta crítica.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 46

Conteo de válvulas en la ruta crítica.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Configuración de la Primera Línea de la Hoja de Cálculo.

El siguiente script en Dynamo configura de manera automatizada la primera línea de una hoja de cálculo, donde se definen encabezados o elementos iniciales que estructuran los datos a exportar o analizar. Este procedimiento es esencial para organizar la información y garantizar que los datos exportados sigan un formato estándar y claro.

1. Definición de Encabezados

- **Nodo utilizado:** Code Block
- **Input:** Texto o valor inicial que define el encabezado de la hoja de cálculo.
- **Output:** String que representa el encabezado inicial (e.g., "TRAMO 0").

Este nodo define el primer valor de la hoja, que servirá como identificador o etiqueta de los datos que se generarán.

2. Creación de Listas

- **Nodo utilizado:** List.Create
- **Input:** Item0, Item1, Item2 (Valores o encabezados individuales).
- **Output:** Lista de elementos que representan los encabezados o estructura inicial de la hoja.

Este nodo organiza los valores iniciales en una lista, asegurando que estén correctamente estructurados.

3. Repetición de Elementos

- **Nodo utilizado:** List.OfRepeatedItem
- **Input:**
 - Item (Elemento a repetir, e.g., un carácter vacío).
 - Amount (Número de repeticiones).
- **Output:** Lista de elementos repetidos según la cantidad especificada.

Este nodo genera elementos repetidos (e.g., celdas vacías) para completar la estructura inicial de la hoja.

4. Aplanamiento de Listas

- **Nodo utilizado:** List.Flatten
- **Input:** Lista de elementos con subniveles.
- **Output:** Lista aplanada con todos los elementos en un único nivel.

Este nodo organiza los datos eliminando subniveles en las listas, preparando los datos para exportarlos o integrarlos en el modelo.

5. Conteo y Ajuste

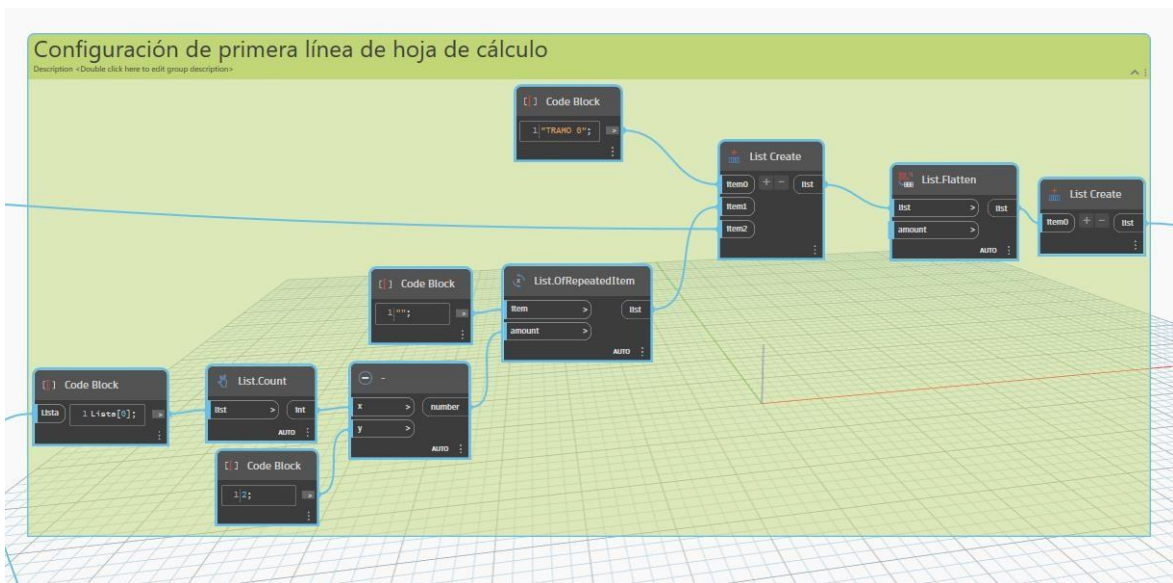
- **Nodos utilizados:**
 - List.Count (para contar elementos en una lista).

- Code Block (para ajustar valores según el conteo).
- **Input:** Lista de elementos iniciales.
- **Output:** Número de elementos o ajustes específicos según las necesidades.

Estos nodos aseguran que los valores iniciales cumplan con las especificaciones requeridas.

Figura 47

Script: configuración de las filas de datos en excel.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Exportación de Datos a Excel.

Este script en Dynamo permite la exportación automatizada de datos desde un modelo BIM hacia un archivo Excel, lo que facilita la documentación, el análisis y la integración de información en procesos externos. La

configuración asegura que los datos se ubiquen correctamente en una hoja de cálculo específica, siguiendo un formato predefinido.

1. Definición de la Ruta de Archivo

- **Nodo utilizado:** File Path
- **Input:** Ruta del archivo Excel donde se exportarán los datos.
- **Output:** Ruta definida como string.

Este nodo especifica la ubicación del archivo Excel en el sistema de archivos.

2. Definición del Nombre de la Hoja

- **Nodo utilizado:** Code Block
- **Código:** "PRUEBA"
- **Input:** Nombre asignado a la hoja dentro del archivo Excel.
- **Output:** Nombre de la hoja como string.

Este nodo define el nombre de la hoja en la que se exportarán los datos, permitiendo identificar y organizar los datos.

3. Configuración de la Ubicación Inicial

- **Nodos utilizados:**
 - Code Block para definir startRow y startColumn.

- **Input:** Fila y columna iniciales para ubicar los datos.
- **Output:** Coordenadas iniciales para la exportación.

Estos nodos configuran dónde comenzarán a insertarse los datos en la hoja de cálculo.

4. Unión de Listas de Datos

- **Nodo utilizado:** List.Join
- **Input:** Dos o más listas de datos a combinar.
- **Output:** Una lista unificada con todos los datos organizados.

Este nodo permite agrupar diferentes listas de datos en una sola estructura para su exportación.

5. Configuración de Opciones de Escritura

- **Nodo utilizado:** Code Block
- **Input:** Parámetro booleano para decidir si se sobrescribirán los datos existentes.
- **Output:** Configuración de sobrescritura desactivada.

Este nodo asegura que los datos nuevos no sobrescriban información previamente almacenada en la hoja de cálculo.

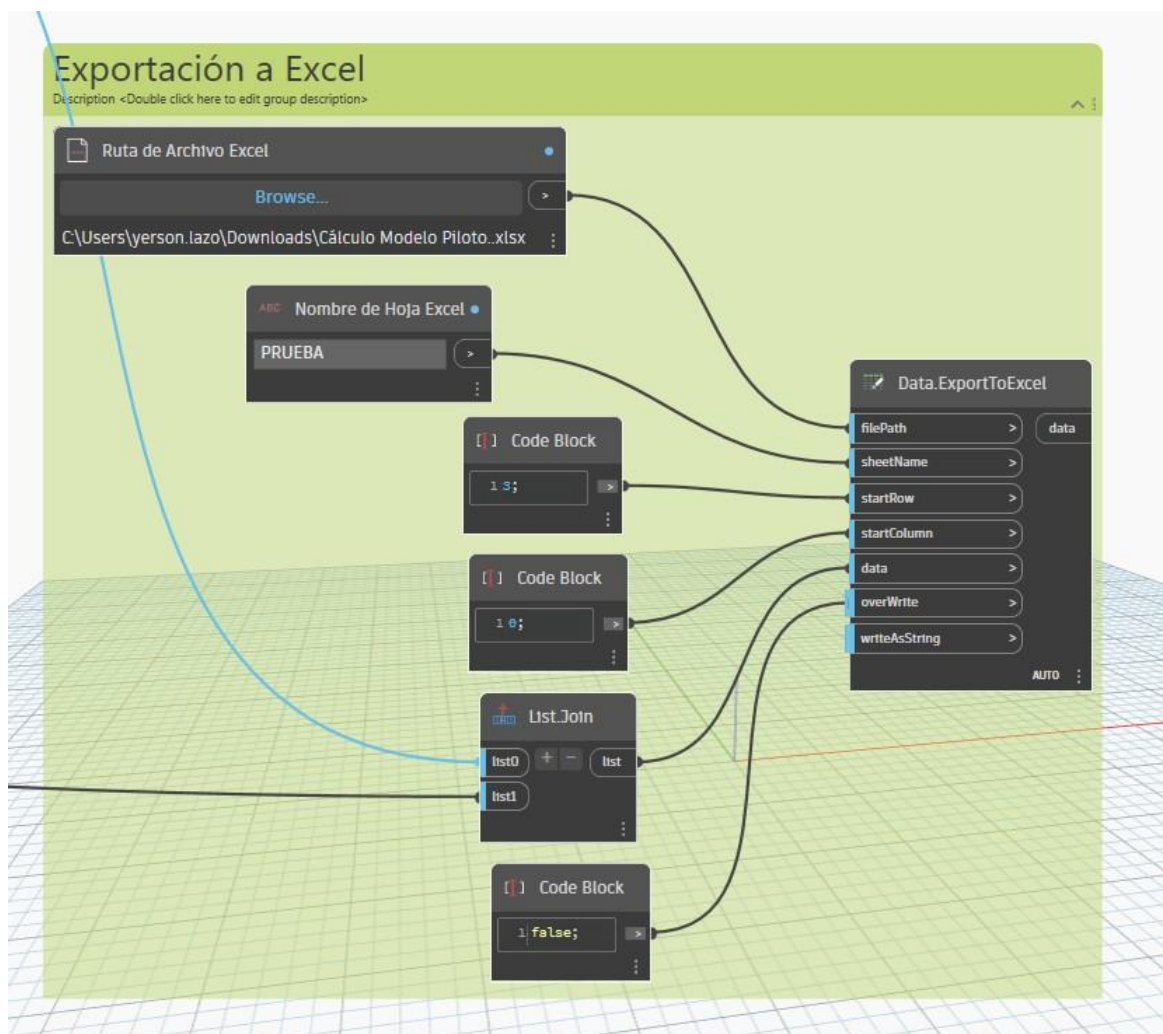
6. Exportación de Datos

- **Nodo utilizado:** Data.ExportToExcel
- **Input:**
 - filePath: Ruta del archivo Excel.
 - sheetName: Nombre de la hoja.
 - startRow, startColumn: Coordenadas iniciales.
 - data: Lista de datos a exportar.
 - overwrite: Parámetro booleano.
- **Output:** Datos exportados al archivo Excel.

Este nodo realiza la exportación, asegurando que los datos se ubiquen correctamente según la configuración especificada.

Figura 48

Script: exportación en excel.



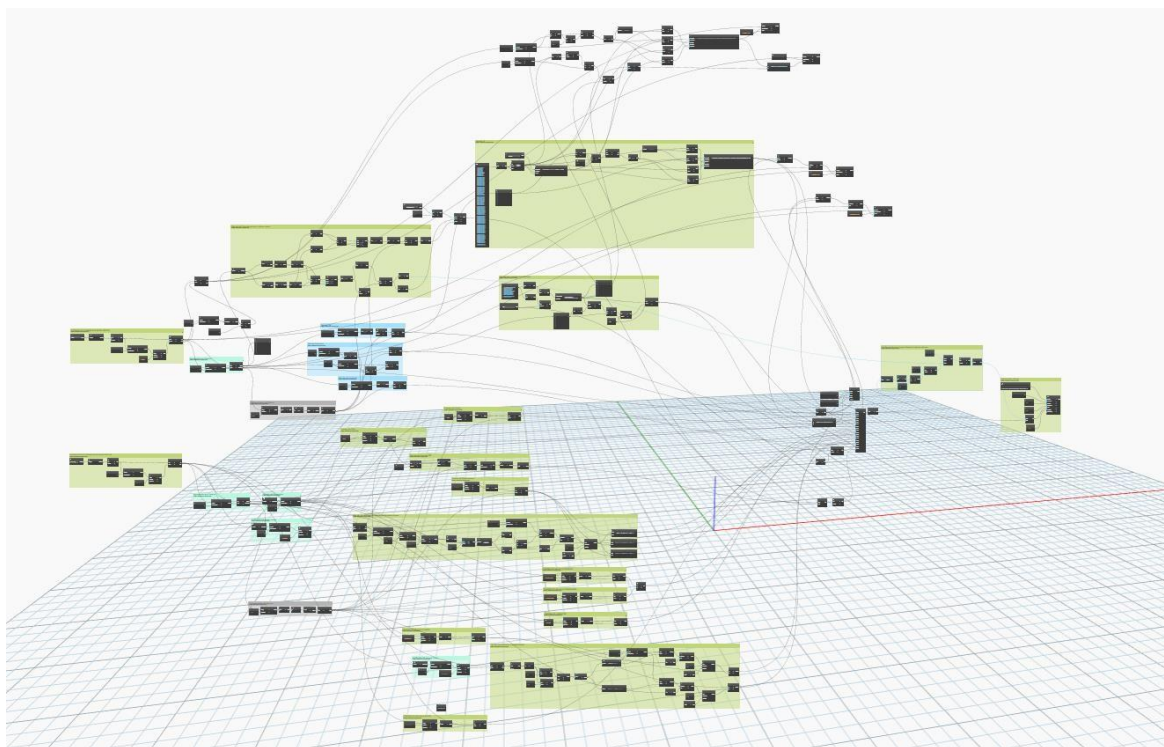
Fuente: Elaboración Propia (2024)

Resumen General del Script de Cálculo Hidráulico.

Este script en Dynamo automatiza el proceso de cálculo hidráulico para sistemas de tuberías, considerando metodologías basadas en la normativa vigente y organizando los resultados en un formato de hoja de cálculo preestablecido. A continuación, se resumen las principales etapas del script:

Figura 49

Script: diagrama general del cálculo hidráulico.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

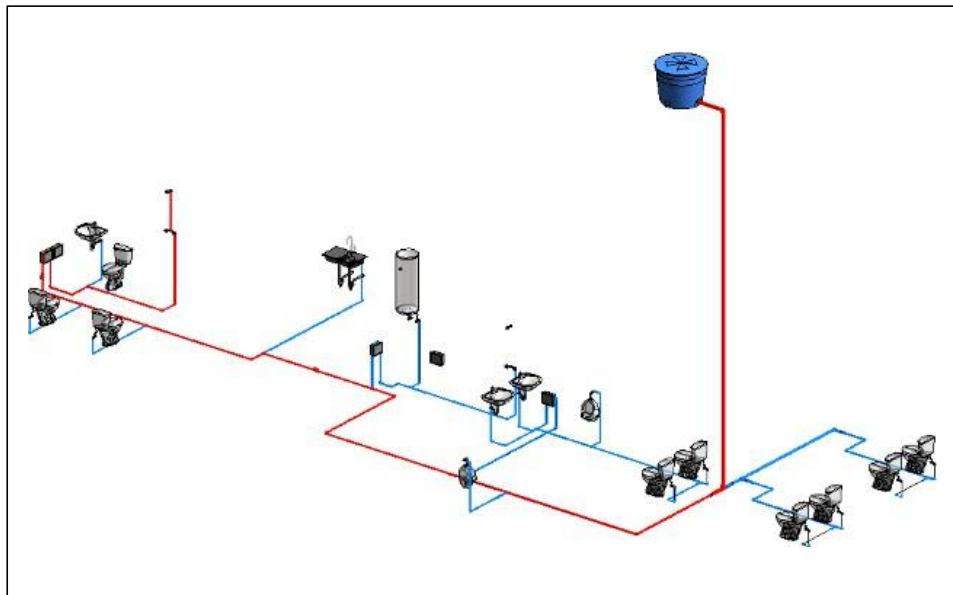
4.1 Primer Caso: Edificación de Oficinas en una Planta de Tratamiento de Agua Potable

Se modeló el sistema de agua fría y caliente en una edificación de oficinas de un solo piso perteneciente a una planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Para ello, se emplearon familias predeterminadas configuradas de acuerdo con la estandarización definida en esta investigación. Adicionalmente, se incluyeron parámetros compartidos para registrar los valores propios del diseño.

4.1.1 Análisis del Primer script: Identificación de la ruta crítica para la Edificación de Oficinas en la Planta de Tratamiento de Agua Potable

Figura 50

Prueba 01: Edificación de un solo Nivel.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

En este primer escenario, se analizó la red de agua fría y caliente de un

edificio de oficinas localizado dentro de una **planta de tratamiento de agua potable**.

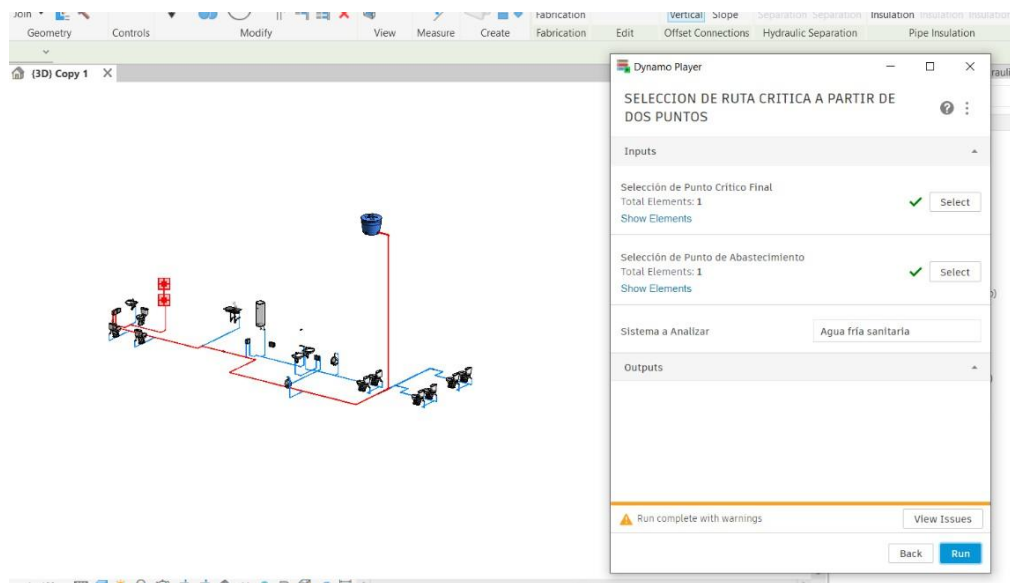
La edificación consta de **un solo piso** y cuenta con un **tanque elevado** como fuente de abastecimiento principal. A partir de este modelo, se aplicó el **script de ruta crítica** desarrollado en Dynamo, con el objetivo de identificar la trayectoria hidráulica más larga (o más exigente) entre dos puntos específicos:

1. **Punto de abastecimiento:** el tanque elevado.
2. **Punto de consumo final más alejado:** en este caso, la ducha.

Tras la selección de ambos puntos, el script recorre la red de tuberías y determina el camino óptimo, asignando valores a parámetros personalizados en Revit, tales como:

Figura 51

Prueba 01: Aplicación del script ruta crítica a partir de dos puntos.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

- **LDA_TramoCrítico:** Longitud del tramo crítico dentro de la ruta

identificada.

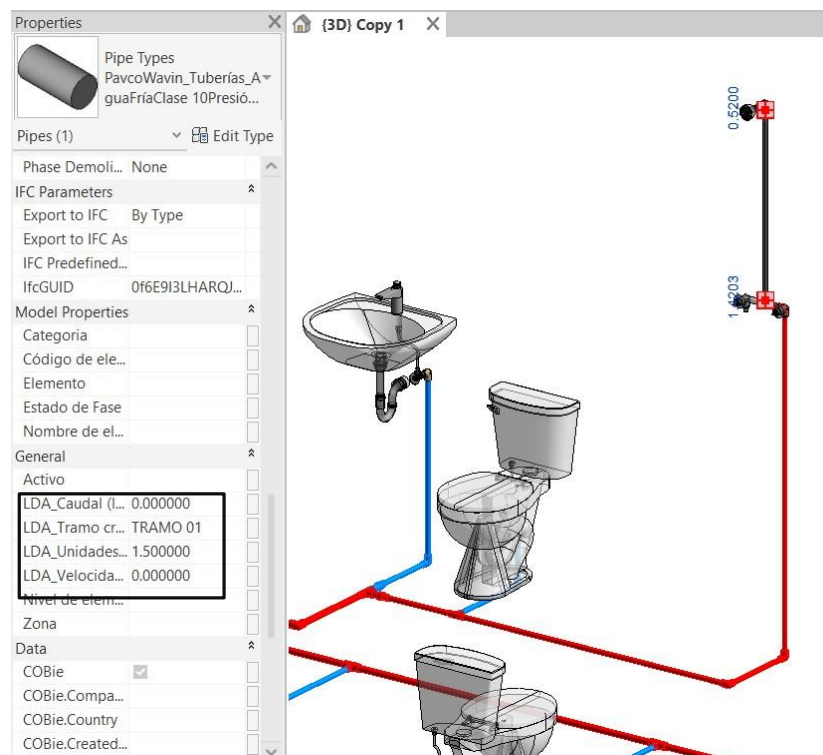
- **LDA_UnidadesHunter:** Unidades de demanda Hunter asociadas a la normativa RNE IS.010.

Resultados relevantes del Script 01

- **Número de tramos críticos:** Se identificaron **10 tramos** en la ruta crítica.
- **Unidades Hunter totales:** La sumatoria de demanda arrojó **49.25 unidades Hunter**.
- **Tiempo de ejecución:** El script demoró **21.69 segundos**, un valor que se considera adecuado para un modelo de un solo piso y pocos aparatos sanitarios.

Figura 52

Prueba 01: Llenado de parámetros del tramo crítico.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

4.1.2 Análisis del Segundo Script (Cálculo Hidráulico) para la Edificación de Oficinas en la Planta de Tratamiento de Agua Potable

Tras la identificación de la ruta crítica y las unidades de demanda (Script 01), el siguiente paso fue aplicar el **Segundo Script** enfocado en el **Cálculo Hidráulico**. Este segundo script tiene como objetivos principales:

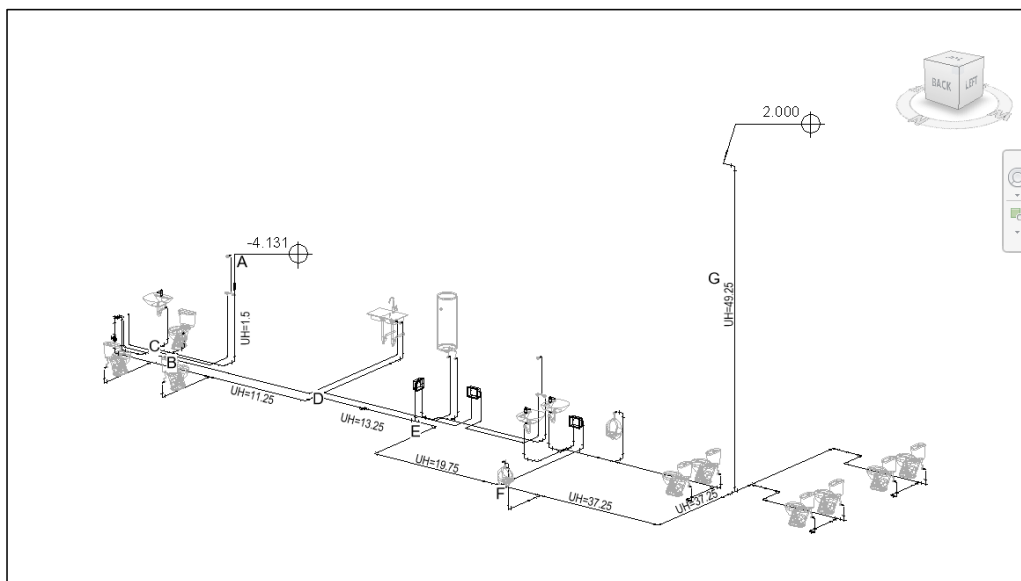
1. **Determinar caudales y velocidades** en cada tramo de la ruta crítica.
2. **Contabilizar los accesorios** (codos, tees, reducciones, válvulas, etc.) que influyen en las **pérdidas de carga**.
3. **Registrar las cotas de cada tramo**, con el fin de exportar estos datos a una plantilla de Excel para el **cálculo final** de pérdidas y presiones de servicio.
4. **Proceso de Cálculo y Exportación de Datos**
 - Llenado automático de parámetros: El script completa campos como LDA_Caudal (l/s), LDA_Velocidad (m/s) y otros parámetros relevantes en el modelo Revit.
 - Conteo de accesorios: Se identifican y suman codos, tees, reducciones y válvulas presentes en cada tramo para evaluar sus aportes a las pérdidas de carga.
 - Cotas de cada tramo: Se registran las elevaciones iniciales y finales (cotas), permitiendo calcular el desnivel y, a su vez, la

presión en cada punto de la ruta.

- Exportación a Excel: Todos estos datos (caudales, velocidades, longitudes, accesorios, cotas) son enviados a una hoja de cálculo previamente configurada, la cual procesa los cálculos de pérdidas por fricción y accesorios, obteniendo la pérdida de carga total y la presión de salida en el último tramo.

Figura 53

Prueba 01: Aplicación del script cálculo hidráulico.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

El script 02, en función de las condiciones modeladas, calcula los caudales y la velocidad en los tramos de tubería de la ruta crítica y transfiere dicha información a los parámetros **LDA_Caudal (l/s)** y **LDA_Velocidad (m/s)**, respectivamente. A continuación, los datos se exportan a una plantilla de Excel predeterminada para llenar la información correspondiente a: tramo de tubería, UH, diámetro nominal, diámetro interno, velocidad, cantidad de accesorios, longitud de la tubería, constante de HYW y cotas de los tramos. Este procedimiento de procesamiento del script duro 15.4 segundos desde la

ejecución mediante el dynamo player.

Figura 54

Prueba 01: Exportación del cálculo hidráulico

Tramo	UH	Q	DN	Di	V	Cantidad de Accesorios										Leq Acc	L Tub	L Tot	C	hf	COTA PIZOMÉTRICA (m)	DESNIVEL (m)	COTA DEL PUNTO (m)	PRESIÓN (m.c.a.)	
x-y		l/s	pulg	mm	m/s	CODO	TEE	REDUCCION			V COMP.	MEDIDO R	CHECK		PIE	m	m	m	HyW	m					
		d/D = 14	d/D = 12	d/D = 34	V			H																	
TRAMO 0																									
TRAMO 01	1.5	0.06	0.5	17.4	0.252454	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.06	3.27	4.34	150	0.02	-2.11	1.51	-4.131	2.00
TRAMO 02	4.5	0.195	0.5	17.4	0.820477	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.18	0.43	1.61	150	0.08	-2.02	0.00	-5.641	3.62
TRAMO 03	5.25	0.235	0.75	22.4	0.596626	5	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	7.76	3.61	11.37	150	0.24	-1.79	0.00	-5.641	3.86
TRAMO 04	8.25	0.2975	0.75	22.4	0.755303	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.55	1.57	3.12	150	0.10	-1.68	0.00	-5.641	3.96
TRAMO 05	11.25	0.3725	0.75	22.4	0.945716	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.33	2.98	5.31	150	0.26	-1.42	0.00	-5.641	4.22
TRAMO 06	13.25	0.405	0.75	22.4	1.028228	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3.16	2.62	5.78	150	0.33	-1.09	0.00	-5.641	4.55
TRAMO 07	19.75	0.535	0.75	22.4	1.358276	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.27	6.20	9.47	150	0.91	-0.18	0.00	-5.641	5.46
TRAMO 08	32.25	0.7938	1	29.4	1.169821	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.05	1.08	3.12	150	0.17	-0.01	0.00	-5.641	5.63
TRAMO 09	37.25	0.8688	1	29.4	1.280355	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3.44	5.86	9.30	150	0.58	0.57	0.00	-5.641	6.21
TRAMO 10	49.25	1.115	2	56	0.452928	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.14	8.20	14.34	150	0.06	0.63	7.64	2.000	-1.37
															hf total										

Fuente: Elaboración Propia (2024)

4.1.3 Discusión de resultados

Los valores del cuadro de Excel exportado corresponden fielmente a lo mostrado en el modelo, lo que permite realizar un análisis exhaustivo del diseño propuesto para esta edificación. Se observa que los tramos 01, 03 y 10 no cumplen con las velocidades establecidas en la norma, la cual indica un rango de 0.6 m/s a 3 m/s.

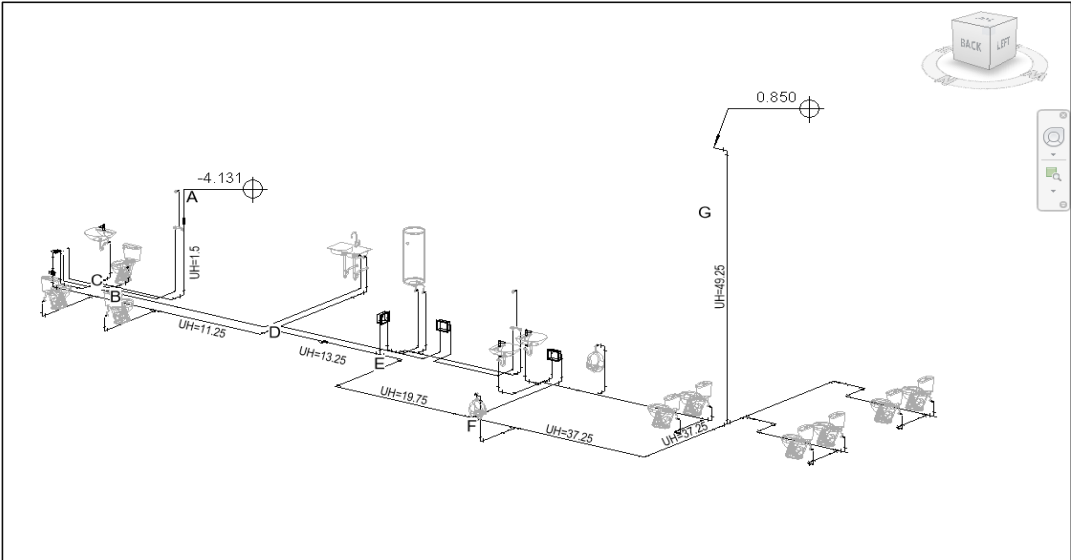
Por otro lado, se ha identificado una pérdida de carga de 2.76 m.c.a. generada por los accesorios y la tubería. Sumado a la ubicación del tanque elevado (+2.00 m respecto al nivel 0.00) y a la presión de salida del aparato (2 m.c.a.), esto ha generado una presión adicional de 1.37 m.c.a. El diseño propuesto refleja que, aun en las condiciones más críticas (nivel más bajo de agua en el tanque elevado), se garantiza la presión para el aparato más desfavorable.

No obstante, para este diseño se recomienda reducir la altura del tanque elevado a fin de alcanzar la altura óptima con la presión mínima necesaria. Si bien en la condición actual se mantiene el servicio para el aparato más desfavorable, con una presión superior a 2 m.c.a., para obtener valores más

precisos se emplearán nuevamente los scripts y así efectuar la comparación respectiva

Figura 55

Aplicación del script cálculo hidráulico para redimensionamiento



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 56

Exportación del cálculo hidráulico redimensionado.

Tramo	X-Y	UH	Q	DN	DI	V	Cantidad de Accesorios										Leq. Acc.	L. Tub.	L. Tot.	C.	Hf	COTA PIZOMÉTRICA (m)	DESNIVEL (m)	COTA DEL PUNTO (m)	PRESIÓN (m.c.a)
							CODO	TEE	REDUCCIÓN			V. COMP.	REDUC.	CHECK		PIE									
			l/s	pulg	mm	m/s	d/D = 1/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4					V	H		m	m	m	HyW	m				
TRAMO 0																									
TRAMO 01	1-5	0.06	0.5	17.4	0.35	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.06	3.27	4.34	150	0.02	-2.11	1.51	-5.641	3.54
TRAMO 02	4-5	0.195	0.5	17.4	0.82	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.18	0.43	1.61	150	0.08	-2.02	0.00	-5.641	3.62
TRAMO 03	5-25	0.235	0.75	22.4	0.60	5	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	7.76	3.61	11.37	150	0.24	-1.79	0.00	-5.641	3.86
TRAMO 04	8-25	0.298	0.75	22.4	0.76	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.55	1.57	3.12	150	0.10	-1.68	0.00	-5.641	3.96
TRAMO 05	11-25	0.373	0.75	22.4	0.95	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.33	2.98	5.31	150	0.26	-1.42	0.00	-5.641	4.22
TRAMO 06	13-25	0.405	0.75	22.4	1.03	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3.16	2.62	5.78	150	0.33	-1.09	0.00	-5.641	4.55
TRAMO 07	19-25	0.535	0.75	22.4	1.36	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.27	6.20	9.47	150	0.91	-0.18	0.00	-5.641	5.46
TRAMO 08	32-25	0.794	1	29.4	1.17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.05	1.08	3.12	150	0.17	-0.01	0.00	-5.641	5.63
TRAMO 09	37-25	0.869	1	29.4	1.38	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.29	5.89	9.17	150	0.58	0.56	0.00	-5.641	6.20
TRAMO 10	49-25	1.115	1.25	38.4	0.96	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.93	6.73	10.66	150	0.29	0.85	0.850	0.850	0.00
Hf total																					2.98				

Fuente: Elaboración Propia (2024)

Al aplicar nuevamente el script 02 y modificar los diámetros en los tramos 01, 03 y 10, se logró que las velocidades cumplieran con el rango establecido por el Reglamento Nacional de Edificaciones. Además, se determinó que la cota óptima del eje del nivel mínimo de agua del tanque

elevado para este proyecto debe ubicarse en +0.85 m respecto al nivel 0.00, lo que implica reducir la altura en 1.15 m con respecto a la posición inicial de +2.00 m, generando así un ahorro en los costos de construcción.

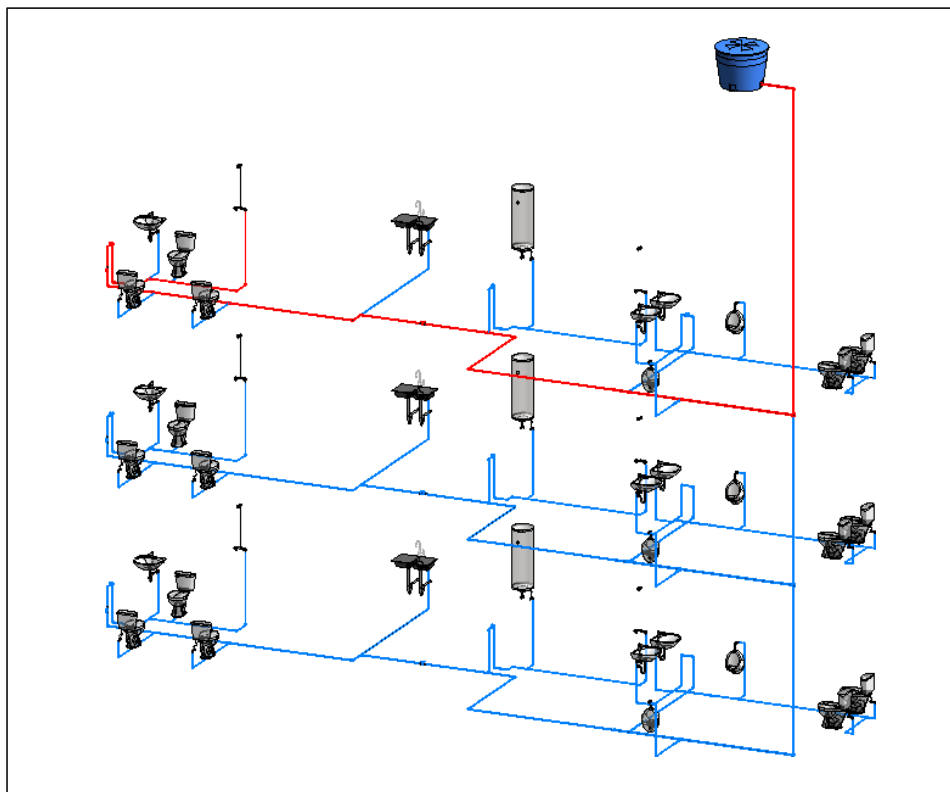
Este procedimiento de diseño, implementado a través de los scripts 01 y 02, se completó en un tiempo aproximado de 37.09 segundos, garantizando la presión del 100 % y manteniendo un flujo BIM continuo en el diseño de las instalaciones sanitarias, junto con el modelado en línea.

4.2 Segundo Caso: Edificación de un Multifamiliar de 3 Niveles

Se modeló el sistema de agua fría y caliente en una edificación de 3 niveles. Para ello, se emplearon familias predeterminadas configuradas de acuerdo con la estandarización definida en esta investigación. Adicionalmente, se incluyeron parámetros compartidos para registrar los valores propios del diseño.

Figura 57

Prueba 02: Edificación de tres niveles.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

4.2.1 Análisis del Primer script: Identificación de la ruta crítica para la Edificación de 3 Niveles

En este primer escenario, se analizó la red de agua fría y caliente de un edificio que consta de **tres pisos** y cuenta con un **tanque elevado** como fuente de abastecimiento principal. A partir de este modelo, se aplicó el **script de ruta crítica** desarrollado en Dynamo, con el objetivo de identificar la trayectoria hidráulica más larga (o más exigente) entre dos puntos específicos:

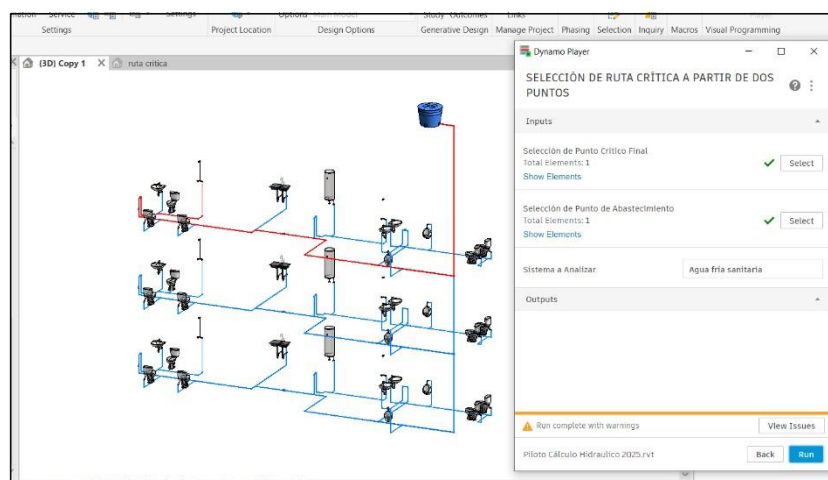
1. **Punto de abastecimiento:** el tanque elevado.
2. **Punto de consumo final más alejado:** en este caso, la ducha del último piso.

Tras la selección de ambos puntos, el script recorre la red de tuberías y determina el camino óptimo, asignando valores a parámetros personalizados en Revit, tales como:

- **LDA_TramoCrítico:** Longitud del tramo crítico dentro de la ruta identificada.
- **LDA_UnidadesHunter:** Unidades de demanda Hunter asociadas a la normativa RNE IS.010.

Figura 58

Prueba 02: Aplicación del script ruta crítica a partir de dos puntos.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Resultados relevantes del Script 01

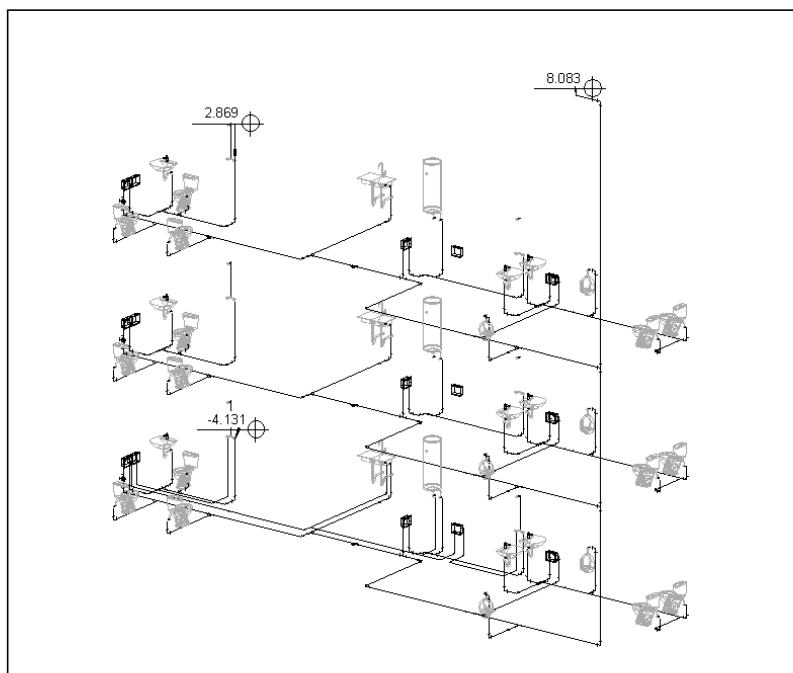
- **Número de tramos críticos:** Se identificaron **10 tramos** en la ruta crítica.
- **Unidades Hunter totales:** La sumatoria de demanda arrojó **111.8 unidades Hunter**.
- **Tiempo de ejecución:** El script demoró **25.89 segundos**

4.2.2 Análisis del Segundo Script (Cálculo Hidráulico) para la Edificación de 3 Niveles

Tras la identificación de la ruta crítica y las unidades de demanda (Script 01), el siguiente paso fue aplicar el **Segundo Script** enfocado en el **Cálculo Hidráulico**. Este segundo script tiene como resultados los siguiente:

Figura 59

Prueba 02: Aplicación del script cálculo hidráulico.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

El script 02, basado en las condiciones modeladas, calcula los caudales y las velocidades en los tramos de la ruta crítica y transfiere dicha información a los parámetros LDA_Caudal (l/s) y LDA_Velocidad (m/s). Este proceso de ejecución tardó 16.4 segundos a través de Dynamo Player.

Figura 60

Prueba 02: Exportación del cálculo hidráulico.

Tramo	x-y	UH	Q	DN	DI	V	Cantidad de Accesorios										Leq Acc	L Tub	L Tot	C	hf	COTA PIZOMÉTRICA (m)	DESNIVEL (m)	COTA DEL PUNTO (m)	PRESIÓN (m.c.a)	
			l/s	pulg	mm	m/s	CODO	TEE	REDUCCION			V. COMP.	MEDIDO R	CHECK		PIE										
									d/D = 1/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4			V	H											
TRAMO 0																										
TRAMO 01	1.5	0.06	0.5	17.4	0.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.60	3.27	4.87	150	0.03	4.90	1.49	1.376	3.52
TRAMO 02	4.5	0.195	0.5	17.4	0.82	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2.24	0.43	2.67	150	0.14	5.03	0.00	1.376	3.66
TRAMO 03	5.25	0.235	0.75	22.4	0.60	5	2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	9.48	3.61	13.09	150	0.27	5.31	0.00	1.376	3.93
TRAMO 04	8.25	0.298	0.75	22.4	0.76	4	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	6.54	1.57	8.11	150	0.26	5.57	0.02	1.359	4.21
TRAMO 05	11.25	0.373	0.75	22.4	0.95	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.33	2.98	5.31	150	0.26	5.83	0.00	1.359	4.47
TRAMO 06	13.25	0.405	0.75	22.4	1.03	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3.16	2.62	5.78	150	0.33	6.17	0.00	1.359	4.81
TRAMO 07	19.75	0.535	0.75	22.4	1.36	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3.27	6.20	9.47	150	0.91	7.08	0.00	1.359	5.72
TRAMO 08	32.25	0.794	1	29.4	1.17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.05	1.08	3.12	150	0.17	7.24	0.00	1.359	5.88
TRAMO 09	37.25	0.869	1	29.4	1.28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.05	2.38	4.42	150	0.28	7.52	0.00	1.359	6.16
TRAMO 10	111.8	1.764	1	29.4	2.60	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.07	7.38	10.45	150	2.43	9.95	6.72	8.083	1.87
hf total																	5.08									

Fuente: Elaboración Propia (2024)

4.2.3 Discusión de resultados

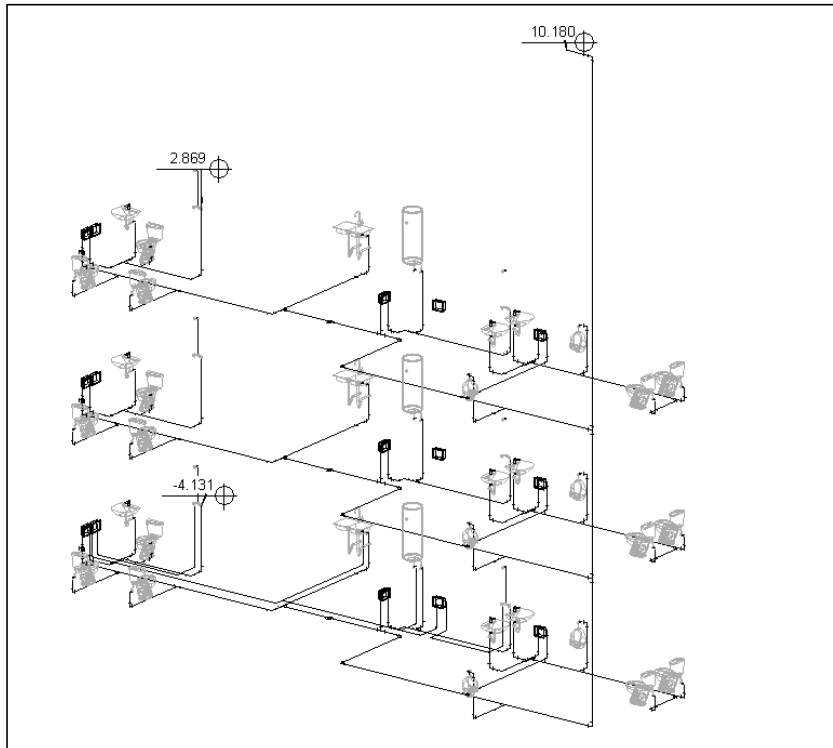
Los datos exportados al cuadro de Excel reflejan fielmente la información del modelo, lo que posibilita un análisis exhaustivo del diseño propuesto para esta edificación. Se verifica que los tramos cumplen con las velocidades establecidas en la norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, que establece un rango de 0.6 m/s a 3 m/s.

Asimismo, se ha detectado una pérdida de carga de 5.08 m.c.a. generada por los accesorios y la tubería. La cota de salida del nivel mínimo de agua del tanque elevado se encuentra en +8.083 m respecto al nivel +0.00, lo que ocasiona un déficit de presión para el aparato más desfavorable (en este caso, la ducha con una presión de salida de 2 m.c.a.).

En consecuencia, se recomienda aumentar la altura del tanque elevado para garantizar la presión óptima en el aparato más desfavorable.

Figura 61

Aplicación del script cálculo hidráulico para redimensionamiento.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 62

Exportación del cálculo hidráulico redimensionado.

Tramo	UH	Q	DN	DI	V	Cantidad de Accesorios											Leg Acc	L Tub	L Tot	C	Hf	COTA PIEZOMÉTRICA (m)	DESNIVEL (m)	COTA DEL PUNTO (m)	PRESIÓN (m.c.a.)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
x-y		l/s	pulg	mm	m/s	CODO	TEE	REDUCCION			V. COMP.	MEDIDO R	CHECK		PIE	m	m	m	HyW	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
								d/D = 1/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4			V	H																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
TRAMO 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							</

Fuente: Elaboración Propia (2024)

Al aplicar nuevamente el script 02 con la nueva altura del eje mínimo de agua del tanque elevado en +10.18 m respecto al nivel 0.00, se obtuvo una pérdida de carga por longitud y accesorios de 5.31 m.c.a. y una presión de

salida óptima de 2 m.c.a. para el aparato más desfavorable (en este caso, la ducha del último piso). Con esta modificación, la altura del tanque elevado se incrementó 2.097 m respecto a la consideración inicial.

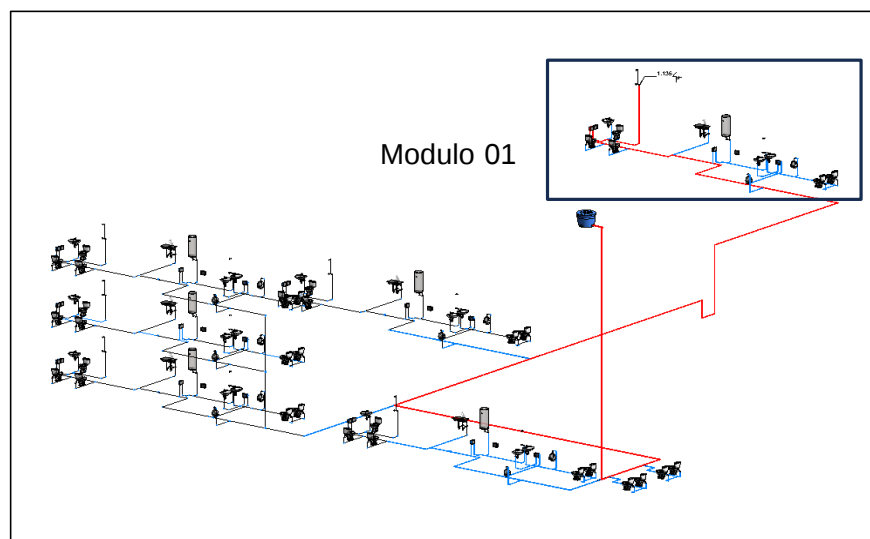
Este procedimiento de diseño, implementado a través de los scripts 01 y 02, se completó en aproximadamente 42.29 segundos, garantizando la presión al 100 % y manteniendo un flujo BIM continuo en el diseño de las instalaciones sanitarias, así como en el modelado en línea.

4.3 Tercer Caso: Edificación con múltiples módulos

Se modeló el sistema de agua fría y caliente en una edificación con 4 módulos ubicados en diferentes posiciones de un terreno, asemejándose a un colegio con varios pabellones. Para ello, se emplearon familias predeterminadas configuradas de acuerdo con la estandarización definida en esta investigación. Adicionalmente, se incluyeron parámetros compartidos para registrar los valores propios del diseño.

Figura 63

Prueba 03: Edificación de múltiples módulos1.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

4.3.1 *Análisis del Primer script: Identificación de la ruta crítica para la Edificación*

En este primer escenario, se analizó la red de agua fría y caliente de un edificio que consta de **4 módulos** y cuenta con un **tanque elevado** como fuente de abastecimiento principal. A partir de este modelo, se aplicó el **script de ruta crítica** desarrollado en Dynamo, con el objetivo de identificar la trayectoria hidráulica más larga (o más exigente) entre dos puntos específicos:

1. **Punto de abastecimiento:** el tanque elevado.
2. **Punto de consumo final más alejado:** en este caso, la ducha del módulo 01

Resultados relevantes del Script 01

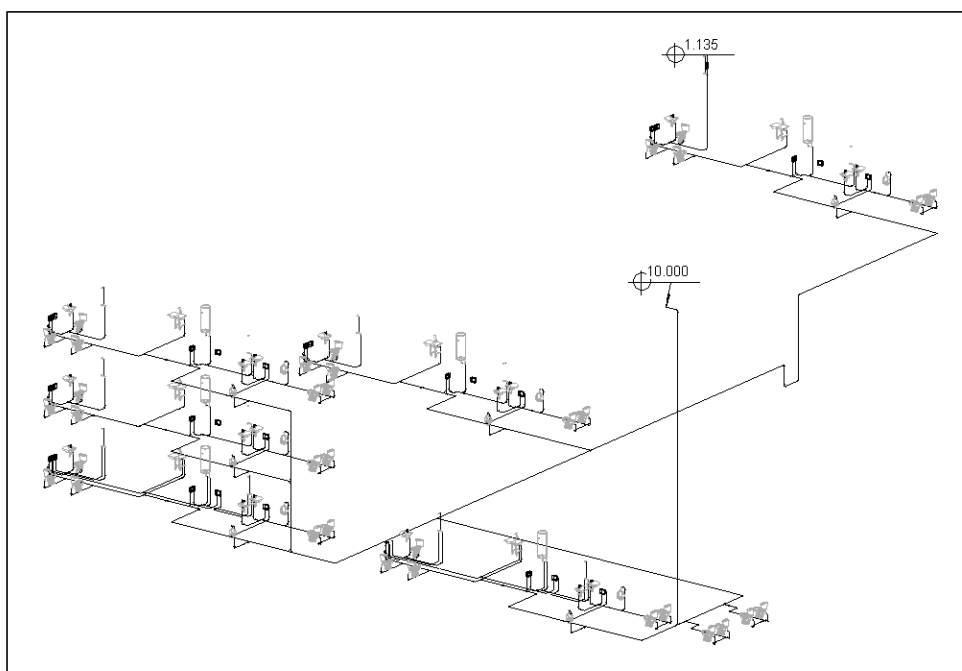
- **Número de tramos críticos:** Se identificaron **14 tramos** en la ruta crítica.
- **Unidades Hunter totales:** La sumatoria de demanda arrojó **235.5 unidades Hunter**.
- **Tiempo de ejecución:** El script demoró **35.59 segundos**

4.3.2 *Análisis del Segundo Script (Cálculo Hidráulico) para la Edificación de múltiples módulos*

Tras la identificación de la ruta crítica y las unidades de demanda (Script 01), el siguiente paso fue aplicar el **Segundo Script** enfocado en el **Cálculo Hidráulico**. Este segundo script tiene como resultados los siguiente:

Figura 64

Prueba 03: Aplicación del script cálculo hidráulico.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 65

Prueba 03: Exportación del cálculo hidráulico.

Tramo	x-y	UH	Q	DN	DI	V	Cantidad de Accesorios										Leq Acc	L Tub	L Tot	C	hf	COTA PIEZOMÉTRICA (m)	DESNIVEL (m)	COTA DEL PUNTO (m)	PRESIÓN (m.c.a)	
			l/s	pulg	mm	m/s	CODO	TEE	REDUCCION			V. COMP.	MEDIDO R	CHECK		PIE										
									d/D = 1/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4			V	H											
TRAMO 0																										
TRAMO 01	1.5	0.06	0.5	17.4	0.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.06	5.37	6.44	150	0.04	3.17	3.61	1.135	2.00
TRAMO 02	4.5	0.195	0.5	17.4	0.82	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.18	0.43	1.61	150	0.08	3.25	0.00	-2.475	5.73
TRAMO 03	5.25	0.235	0.75	22.4	0.60	5	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	7.76	3.61	11.37	150	0.24	3.49	0.00	-2.475	5.97
TRAMO 04	8.25	0.298	0.75	22.4	0.76	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.55	1.57	3.12	150	0.10	3.59	0.00	-2.475	6.07
TRAMO 05	11.25	0.373	0.75	22.4	0.95	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.33	2.98	5.31	150	0.26	3.86	0.00	-2.475	6.33
TRAMO 06	13.25	0.405	0.75	22.4	1.03	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3.16	2.62	5.78	150	0.33	4.19	0.00	-2.475	6.66
TRAMO 07	19.75	0.535	0.75	22.4	1.36	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3.27	6.20	9.47	150	0.91	5.10	0.00	-2.475	7.57
TRAMO 08	32.25	0.794	1	29.4	1.17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.05	1.08	3.12	150	0.17	5.26	0.00	-2.475	7.74
TRAMO 09	37.25	0.869	1	29.4	1.28	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7.38	37.04	44.42	150	2.79	8.05	3.17	-5.641	13.69
TRAMO 10	74.5	1.405	1.25	38.4	1.21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.62	11.94	14.56	150	0.61	8.66	0.00	-5.641	14.30
TRAMO 11	186.3	2.34	1.25	38.4	2.02	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.93	19.42	23.35	150	2.49	11.15	0.00	-5.641	16.79
TRAMO 12	192.3	2.388	1.25	38.4	2.06	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.62	2.94	5.56	150	0.62	11.77	0.00	-5.641	17.41
TRAMO 13	198.3	2.436	1.25	38.4	2.10	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2.89	0.41	3.31	150	0.38	12.15	0.00	-5.641	17.79
TRAMO 14	235.5	2.705	2	56	1.10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.14	16.20	22.34	150	0.50	12.65	15.64	10.000	2.65
hf total																	9.51									

Fuente: Elaboración Propia (2024)

El script 02, basado en las condiciones modeladas, calcula los caudales y las velocidades en los tramos de la ruta crítica y transfiere dicha información a los parámetros LDA_Caudal (l/s) y LDA_Velocidad (m/s). Este proceso de ejecución tardó 17.9 segundos a través de Dynamo Player

4.3.3 Discusión de resultados

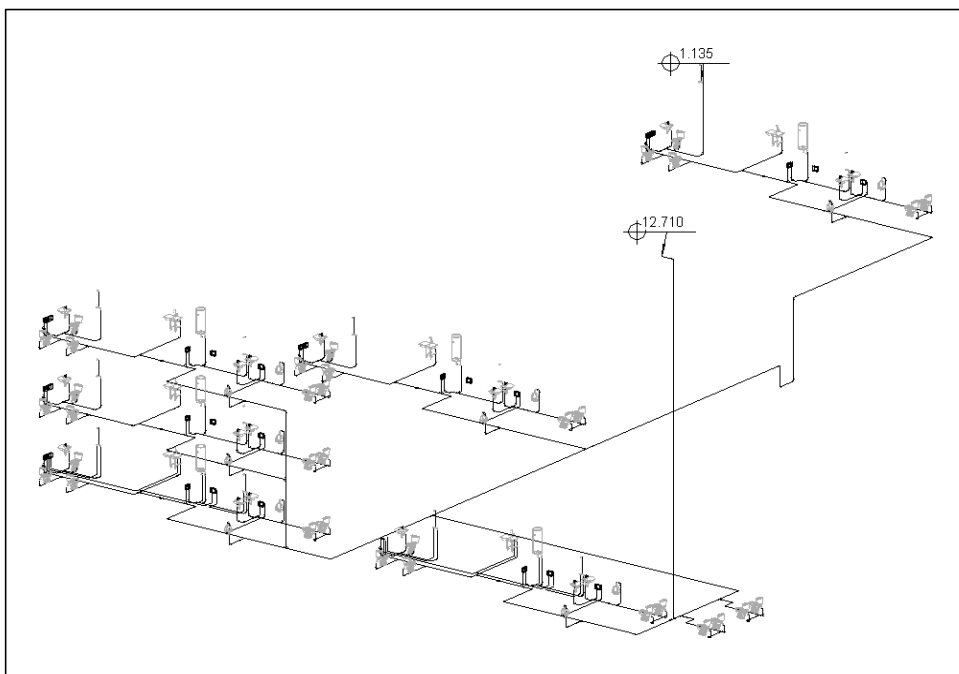
Los datos exportados al cuadro de Excel reflejan fielmente la información del modelo, lo que posibilita un análisis exhaustivo del diseño propuesto para esta edificación. Se verifica que los tramos cumplen con las velocidades establecidas en la norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, que establece un rango de 0.6 m/s a 3 m/s.

Asimismo, se ha detectado una pérdida de carga de 9.51 m.c.a. generada por los accesorios y la tubería. La cota de salida del nivel mínimo de agua del tanque elevado se encuentra en +10.00 m respecto al nivel +0.00, lo que ocasiona un déficit de presión para el aparato más desfavorable (en este caso, la ducha con una presión de salida de 2 m.c.a.).

En consecuencia, se recomienda aumentar la altura del tanque elevado para garantizar la presión óptima en el aparato más desfavorable.

Figura 66

Aplicación del script cálculo hidráulico para redimensionamiento.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 67

Exportación del cálculo hidráulico redimensionado.

Tramo		Q	DN	DI	V	Cantidad de Accesorios													Leq Acc	L Tub	L Tot	C	hf	COTA PIZOMÉTRICA (m)	DESNIVEL (m)	COTA DEL PUNTO (m)	PRESIÓN (m.c.a.)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
x-y	UH	l/s	pulg	mm	m/s	CODO	TEE	REDUCCIÓN			V. COMP.	MEDIDO R	CHECK		PIE	m	m	m	m	HyW	M																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
								d/D = 1/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4			V	H																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
TRAMO 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

Fuente: Elaboración Propia (2024)

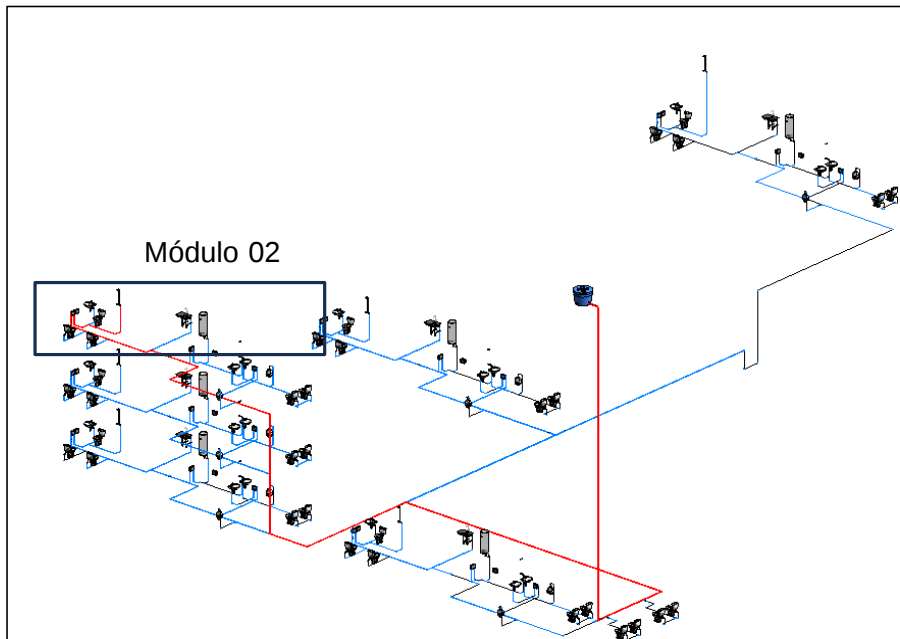
Al aplicar nuevamente el script 02 con la nueva altura del eje mínimo de agua del tanque elevado en +12.710 m respecto al nivel 0.00, se obtuvo una pérdida de carga por longitud y accesorios de 9.57 m.c.a. y una presión de salida óptima de 2 m.c.a. para el aparato más desfavorable (en este caso, la ducha del módulo 01) Con esta modificación, la altura del tanque elevado se incrementó 2.71 m respecto a la consideración inicial.

Este procedimiento de diseño, implementado a través de los scripts 01 y 02, se completó en aproximadamente 53.49 segundos, garantizando la presión al 100 % y manteniendo un flujo BIM continuo en el diseño de las instalaciones sanitarias, así como en el modelado en línea.

Cabe señalar que el caso mostrado puede identificar una segunda posibilidad de ruta crítica que no ha sido evaluado.

Figura 68

Aplicación del script de ruta crítica para el módulo 02.

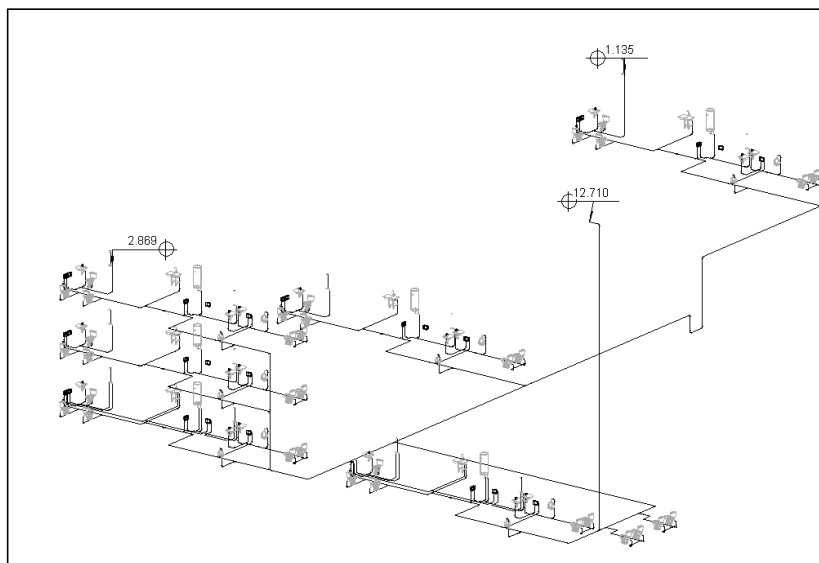


Fuente: Elaboración Propia (2024)

Para este segundo caso se ha escogido la ducha del módulo 02 el cual puede ser la segunda posibilidad de ruta crítica en este sistema.

Figura 69

Aplicación del script de cálculo hidráulico para el módulo 02.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

El sistema actual presenta una altura del nivel de agua del tanque elevado de +12.70 m respecto al nivel 0.00. Dado que la ducha del módulo 01 se considera la más crítica bajo las condiciones actuales, la presión en la ducha del módulo 02 también debería cumplirse con esta premisa. De no ser así, se concluiría que el aparato más desfavorable es la ducha del módulo 02, por lo que procederemos a verificar dicha condición a continuación.

Figura 70

Exportación del cálculo hidráulico.

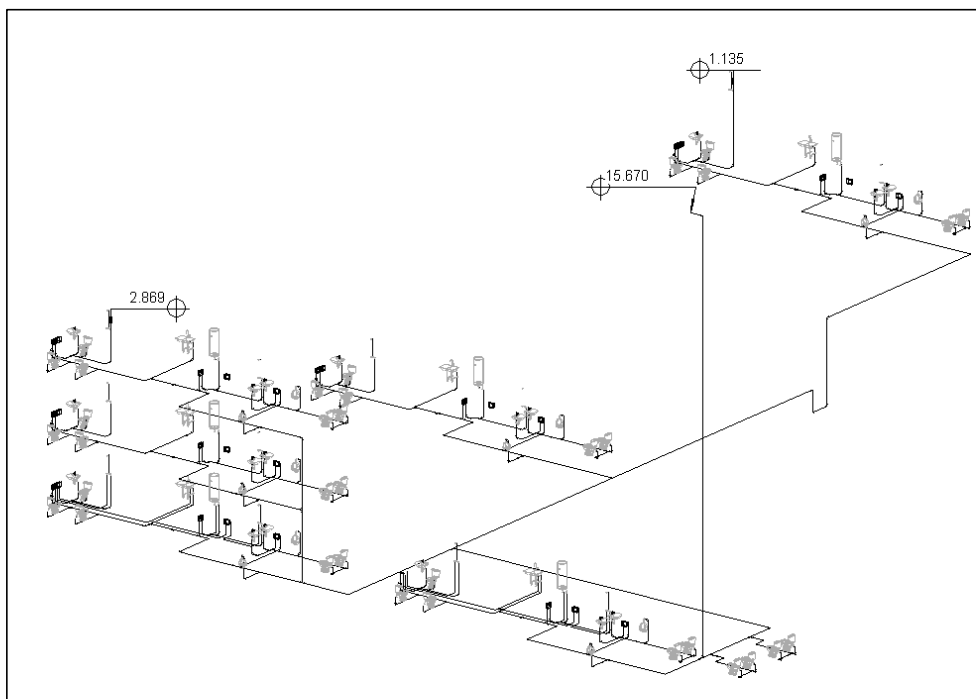
Tramo	x-y	UH	Q	DN	DI	V	Cantidad de Accesorios										Leq Acc	L Tub	L Tot	C	hf	COTA PIZOMÉTRICA (m)	DESNIVEL (m)	COTA DEL PUNTO (m)	PRESIÓN (m c.a)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
			l/s	pulg	mm	m/s	CODO	TEE	REDUCCION			V. COMP.	MEDIDOR	CHECK		PIE	m	m	m	HyW	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
									d/D = 3/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4			V	H																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
TRAMO 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

Fuente: Elaboración Propia (2024)

Bajo los resultados obtenidos nos damos cuenta que la altura actual del tanque elevado no satisface la presión de la ducha del segundo módulo, generando un déficit de presión de 2.89 m.c.a., teniendo nuevamente que analizar la altura del tanque elevado.

Figura 71

Aplicación del script cálculo hidráulico para redimensionamiento.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 72

Exportación del cálculo hidráulico redimensionado.

Tramo	x-y	UH	Q	DN	DI	V	Cantidad de Accesorios										Leq	L Tub	L Tot	C	hf	COTA PIZOMÉTRICA (m)	DESNIVEL (m)	COTA DEL PUNTO (m)	PRESIÓN (m.c.a)
			l/s	pulg	mm	m/s	CODO	TEE	REDUCCION			V. COMP.	MEDIDO R	CHECK		PIE	m	m	m	HyW	m				
									d/D = 1/4	d/D = 1/2	d/D = 3/4			V	H										
TRAMO 0																								2.869	2.00
TRAMO 01	1.5	0.06	0.5	17.4	0.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.06	3.27	4.34	150	0.02	4.89	1.51	1.359	3.54
TRAMO 02	4.5	0.195	0.5	17.4	0.82	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1.18	0.43	1.61	150	0.08	4.98	0.00	1.359	3.62
TRAMO 03	5.25	0.235	0.75	22.4	0.60	5	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	7.76	3.61	11.37	150	0.24	5.21	0.00	1.359	3.86
TRAMO 04	8.25	0.298	0.75	22.4	0.76	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.55	1.57	3.12	150	0.10	5.32	0.00	1.359	3.96
TRAMO 05	11.25	0.373	0.75	22.4	0.95	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.33	2.98	5.31	150	0.26	5.58	0.00	1.359	4.22
TRAMO 06	13.25	0.405	0.75	22.4	1.03	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3.16	2.62	5.78	150	0.33	5.91	0.00	1.359	4.55
TRAMO 07	19.75	0.535	0.75	22.4	1.36	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3.27	6.20	9.47	150	0.91	6.82	0.00	1.359	5.46
TRAMO 08	32.25	0.794	1	29.4	1.17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.05	1.08	3.12	150	0.17	6.99	0.00	1.359	5.63
TRAMO 09	37.25	0.869	1	29.4	1.28	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.07	5.83	8.90	150	0.56	7.54	3.50	-2.141	9.69
TRAMO 10	74.5	1.405	1	29.4	2.07	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.05	3.45	5.50	150	0.84	8.38	3.50	-5.641	14.03
TRAMO 11	111.8	1.764	1	29.4	2.60	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3.29	10.34	13.63	150	3.17	11.55	0.00	-5.641	17.20
TRAMO 12	186.3	2.34	1.25	38.4	2.02	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.93	19.42	23.35	150	2.49	14.05	0.00	-5.641	19.69
TRAMO 13	192.3	2.388	1.25	38.4	2.06	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.62	2.94	5.56	150	0.62	14.67	0.00	-5.641	20.31
TRAMO 14	198.3	2.436	1.25	38.4	2.10	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2.89	0.41	3.31	150	0.38	15.05	0.00	-5.641	20.69
TRAMO 15	235.5	2.705	2	56	1.10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.14	21.87	28.01	150	0.62	15.67	21.31	15.670	0.00
hf total																					10.80				

Fuente: Elaboración Propia (2024)

Al aplicar nuevamente el script 02 con la nueva altura del eje mínimo de agua del tanque elevado en +15.67 m respecto al nivel 0.00, se obtuvo una pérdida de carga por longitud y accesorios de 10 m.c.a. y una presión de salida

óptima de 2 m.c.a. para el aparato más desfavorable (en este caso, la ducha del módulo 02) Con esta modificación, la altura del tanque elevado se incrementó 5.67 m respecto a la consideración inicial.

Este procedimiento de diseño, implementado a través de los scripts 01 y 02, se completó en aproximadamente 48.25 segundos, garantizando la precisión al 100 % y manteniendo un flujo BIM continuo en el diseño de las instalaciones sanitarias, así como en el modelado en línea.

En conclusión, la ducha del módulo 02 es más crítico que la ducha del módulo 01, y el análisis fue muy efectivo y rápido gracias a la aplicación de tecnología de programación.

Conclusiones

1. Versatilidad en la Identificación de la Ruta Crítica

- El **primer script** desarrollado permite identificar la ruta crítica entre **dos elementos definidos por el usuario** dentro del modelo BIM. Esto lo hace particularmente versátil en situaciones donde la determinación de la ruta crítica no es evidente, permitiendo al ingeniero evaluar múltiples escenarios y tomar decisiones informadas.
- Esta capacidad es fundamental en proyectos con condiciones complejas, como edificaciones con múltiples estructuras interconectadas o sistemas hidráulicos con diversos puntos de abastecimiento y consumo.

2. Automatización y Precisión en el Cálculo y Transferencia de Información

- El **segundo script** automatiza el proceso de cálculo hidráulico y la transferencia de datos clave desde el modelo BIM a una hoja de cálculo predefinida. Los datos transferidos incluyen:
 - **Tramos críticos.**
 - **Unidades Hunter** ajustadas según la norma IS 0.10.
 - **Caudales y velocidades.**
 - **Cantidad de uniones de tuberías.**

- **Longitudes de los tramos.**
- **Cotas iniciales y finales de los tramos analizados.**
- Con esta información, la hoja de cálculo realiza los cálculos adicionales necesarios, como:
 - **Longitudes equivalentes en accesorios.**
 - **Pérdidas de carga.**
 - **Presión inicial en el aparato más desfavorable.**
 - **Presión total del sistema.**
- Este flujo de trabajo garantiza que los cálculos sean rápidos, precisos y alineados con las especificaciones normativas.

3. Versatilidad para Diversos Tipos de Sistemas y Escenarios

- Ambos scripts han demostrado ser aplicables en diferentes tipos de proyectos y configuraciones de sistemas hidráulicos, incluyendo:
 - **Edificaciones educativas**, donde la identificación de múltiples rutas críticas es esencial.
 - **Viviendas unifamiliares y multifamiliares**, con sistemas basados en tanques elevados.
 - **Sistemas de bombeo** de presión constante y velocidad variable, con capacidad de trabajar con una bomba operativa y otra en reserva.
- Esta flexibilidad permite al ingeniero analizar diversos escenarios y sustentar sus decisiones de diseño con información

precisa y estructurada.

4. Documentación y Transparencia del Proceso

- La transferencia automatizada de datos a una hoja de cálculo estándar no solo acelera el proceso de cálculo, sino que también facilita la comunicación de los resultados con revisores o clientes. Esto genera confianza al demostrar que el diseño está respaldado por un análisis exhaustivo y bien documentado.

5. Optimización del Tiempo y Reducción de Errores

- La automatización de tareas repetitivas, como el conteo de uniones, la medición de longitudes y el cálculo de caudales y velocidades, reduce significativamente el tiempo necesario para completar el diseño. Además, minimiza el riesgo de errores humanos, mejorando la calidad y confiabilidad del sistema hidráulico.

6. Limitaciones Identificadas y Oportunidades de Mejora

- Aunque el script puede gestionar sistemas de bombeo con una bomba operativa y otra en reserva, presenta limitaciones en escenarios más complejos con múltiples bombas. Esto representa una oportunidad para futuras investigaciones que expandan su funcionalidad y capacidades.

Recomendaciones

1. Desarrollar un lenguaje de programación que abarque casos más complejos en el cual puede intervenir tanques hidroneumáticos sistemas de recirculación o múltiples sistemas de agua potable como en los casos hospitalarios u edificaciones especiales.
2. Mientras más va creciendo el proyecto, los tiempos de cálculo va aumentando, por tal motivo el lenguaje de programación debe ser más potente, por tal motivo es de futuras investigaciones expandir el lenguaje de programación con las API de Revit, teniendo como base el análisis de mayor cantidad de data.
3. Estandarización de Familias y Configuración Inicial
 - Para garantizar el correcto funcionamiento de los scripts de identificación de ruta crítica y cálculo hidráulico, es fundamental aplicar una estandarización adecuada de las familias en Revit. Esto incluye:
 - Nomenclaturas claras y consistentes.
 - Clasificación precisa de sistemas y segmentos de tuberías compartidos.
 - Configuración correcta de las características de los conectores.
 - Configuración de unidades de medida

- Uso uniforme del idioma (ingles) y la versión de Revit (2024)
 - Definición adecuada de parámetros y propiedades de los elementos.
- Sin esta configuración inicial, los procesos automatizados pueden generar errores, comprometiendo la precisión y eficiencia del análisis.

4. Precisión en el Modelado de Tuberías y Accesorios

- Todos los elementos como aparatos sanitarios, uniones de tuberías y tuberías deben estar conectados.
- El proceso de modelado debe considerar cuidadosamente la ubicación de las reducciones, evitando colocarlas demasiado cerca de elementos como tees, codos u otros accesorios. Una ubicación incorrecta puede generar problemas en la identificación de la ruta crítica y afectar los resultados del análisis.
- Elementos como válvulas esféricas y uniones universales deben estar categorizados como uniones dentro de las familias, tal como se define en la estandarización recomendada. Esto asegura una correcta integración y análisis dentro del script.

5. Aplicación de los Scripts según Condiciones Específicas

- Los scripts han sido diseñados y probados para su aplicación en sistemas hidráulicos que operan con tanques elevados en diversos tipos de edificaciones, como:

- Edificaciones educativas.
 - Hoteles.
 - Viviendas unifamiliares y multifamiliares.
- También se pueden utilizar en sistemas de bombeo de presión constante y velocidad variable, pero únicamente en configuraciones con dos bombas, donde una está en funcionamiento y la otra en reserva. No es posible aplicarlos en sistemas con tres o más bombas operativas. Este aspecto se deja como una recomendación para futuras investigaciones que expandan la funcionalidad de los scripts.

6. Gestión de Parámetros y Análisis Iterativos

- El uso continuo de los scripts en análisis iterativos puede generar problemas al acumular parámetros llenados en análisis previos. Por ello, se recomienda utilizar el script adicional de limpieza de parámetros, que permite reiniciar los datos generados en un primer análisis. Esto asegura que cada nuevo análisis sea independiente y esté libre de interferencias de cálculos anteriores, mejorando la precisión y claridad de los resultados.

7. Capacitación y Buenas Prácticas

- Es recomendable capacitar a los usuarios en el uso de los scripts y en las mejores prácticas de modelado en Revit. Esto incluye la correcta configuración de los sistemas, la estandarización de elementos y la gestión adecuada de datos en

análisis iterativos.

- Promover estas buenas prácticas garantizará un uso eficiente de las herramientas, maximizando su potencial y reduciendo el margen de error en el diseño.

Referencias bibliográficas

Autodesk. (2023). Dynamo. Recuperado de [URL de la página oficial de Autodesk Dynamo]

Autodesk. (2023). Revit. Recuperado de [URL de la página oficial de Autodesk Revit]

Carrera Cosavalente, M. E. (2022). Aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) para determinar la incidencia del presupuesto en proyectos de obras civiles, canalizaciones eléctricas y sanitarias. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Cajamarca.

Díaz Arribasplata, A. F., & Herrera Cabrera, K. O. (2023). Análisis e implementación de estándares técnicos para la planificación y coordinación en la construcción virtual de proyectos de inversión de baja y mediana complejidad. Universidad Privada del Norte. Recuperado de https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33740/5.%20Tesis_AlvaroDiaz_y_KevinHerrera_2do%20Lev%20Observaciones_pdf_total.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ferreira, E. M. S. (2022). Programação em plataforma BIM: Desenvolvimento de rotinas em programação visual computacional para o dimensionamento de sistemas prediais de água fria e água quente de acordo com a ABNT NBR 5626. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia.

Lobo dos Santos, R. (2023). Otimização de redes de sprinklers através de programação Dynamo em Revit. Universidade do Porto.

Medeiros, G. R. L. (2017). Projeto de sistemas prediais hidráulicos em BIM: Adequação dos métodos de cálculo às normas brasileiras através da programação visual. Universidade Federal do Ceará. Recuperado de https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/29028/3/2017_tcc_grlmedeiros.pdf

Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (2023). Guía Nacional BIM: Gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM. Recuperado de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4333290/Gu%C3%ADa%20Nacional%20BIM%20%20Gesti%C3%B3n%20de%20la%20informaci%C3%B3n%20para%20inversiones%20desarrolladas%20con%20BIM.pdf?v=1680013516>

Palacios Ramos, D. S., & Robles Collantes, J. S. A. (2023). Diseño de una guía de automatización para el control de avance de obra en la etapa de acabados en proyectos de edificación, usando la herramienta de programación Dynamo. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Piñero Vega, R. (2023). Diseño y modelado paramétrico de infraestructuras del ciclo de agua. EDAR. Universidad de Sevilla. Recuperado de https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/155074/Pi%c3%b1ero%20Vega%2c%20Ricardo_M2726.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ribeiro da Luz, F. C. (2024). Uso do sistema BIM na quantificação dos resíduos gerados na construção civil: utilização do Revit e Dynamo aliados a linguagens de programação Python. Universidade Federal de Pernambuco. Recuperado de <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/55468/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Fernanda%20Catarina%20Ribeiro%20da%20Luz.pdf>

Saleh, M. (2023). Development of Quality Requirements for BIM-based facility management. Technische Universität München.

Sampaio, R. D. P. (2022). Programação visual para orçamentação e controle de projetos de instalações elétricas em BIM. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Recuperado de <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/245887/001144016.pdf?sequence=1&isAlloved=y>

Sanila, G. S. (2022). An Object and History-based Approval method for MEP Slot and Opening planning in openBIM projects using a Database-driven workflow and visual programming methods like Dynamo. Technical University of Munich. Recuperado de <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1649711/1649711.pdf>

Santos Maia, A. M. (2023). Conceção e dimensionamento das redes de retorno de água quente sanitária (AQS) em redes prediais com recurso à metodologia BIM. Universidad do Porto.

Teixeira, A. P. de M. (2018). Aplicação do BIM ao Projeto de Redes Prediais de Abastecimento de Água: Desenvolvimento de Ferramentas de

Auxílio à Modelação Virtual. Universidad do Porto.

Vaz Lopes, T. J. C. (2020). Modelação BIM de redes prediais de drenagem adaptada ao processo de licenciamento de edifícios. Universidad do Porto.

Yucra Altamirano, L. G. (2023). Programación paramétrica–visual aplicada a software BIM para el desarrollo de la etapa de diseño y cálculo de instalaciones eléctricas interiores. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12918/8106>