

**Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**Modelado BIM del terreno e infraestructura externa a los
edificios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa
Rica para la gestión del mantenimiento**

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

David Andrés Mora Herrera

Director:

Ing. Erick Mata Abdelnour PhD.

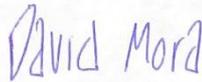
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

HOJA DE APROBACIÓN

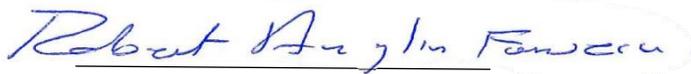
El Comité Asesor, en representación del Tribunal de graduación acepta este Trabajo Final de Graduación de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil.



Ing. Erick Mata Abdelnour PhD.
Director



David Andrés Mora Herrera
Estudiante



Ing. Robert Anglin Fonseca, MSc
Asesor



Ing. Mauricio Carmona Zúñiga
Asesor

DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Fecha: 03 de agosto del 2023

El suscrito, **David Andrés Mora Herrera**, cédula 1-1700-0923, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B64692**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación "**Modelado BIM del terreno e infraestructura externa a los edificios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica para la gestión del mantenimiento**", bajo la Dirección del **Ing. Erick Mata Abdelnour**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y Las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

RECONOCIMIENTOS

Dedicatoria

Con profundo agradecimiento, quiero dedicar este logro a mis padres Alba Herrera y Ramón Mora. Su guía constante y apoyo incondicional han sido pilares fundamentales en mi camino académico. Su ejemplo de sacrificio me ha inspirado a superar obstáculos y perseguir mis metas. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes. Gracias por estar siempre a mi lado.

Agradecimientos

Al director del Trabajo final de graduación, el Ing. Erick Mata y a los asesores el Ing. Robert Anglin y Ing. Mauricio Carmona, gracias por guiar el camino en este proceso final y por todo el apoyo, ayuda y retroalimentación brindada al proyecto.

Al Laboratorio de Construcción de la Escuela de Ingeniería Civil por apoyar este proyecto de graduación y prestar de su equipo y personal para el desarrollo del mismo.

A Camila, gracias por siempre acompañarme y apoyarme incondicionalmente en todas las etapas de mi vida adulta, y esta no fue una excepción.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO I. Introducción	1
1.1 Justificación	1
1.1.1 Problema específico	1
1.1.2 Importancia	2
1.1.3 Antecedentes teóricos y prácticos	4
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo general.....	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 Delimitación del problema.....	8
1.3.1 Alcance.....	8
1.3.2 Limitaciones.....	9
1.4 Descripción de la metodología utilizada.....	10
CAPITULO II. Marco teórico	12
2.1 BIM	12
2.2 Dimensiones BIM	12
2.3 Nivel de desarrollo	13
2.4 Plan de ejecución BIM (BEP)	15
2.5 Entregables BIM	15
2.6 Inventario BIM.....	15
2.7 Entorno Común de Datos (CDE)	16
2.8 UniFormat	16
2.9 Modelo BIM Integrado.....	17
2.10 Modelo BIM Federado.....	17
2.11 Modelo "as built".....	18
2.12 Modelo de mantenimiento de instalaciones.....	18
2.13 Nube de puntos	19
2.14 Cyclone.....	19

2.15	Recap Pro.....	20
2.16	Civil 3D	20
2.17	Revit.....	20
2.18	Modelo del terreno	21
2.19	Modelo de la Infraestructura	21
CAPITULO III. Plan de Ejecución BIM (PEB).....		22
3.1	Resumen.....	22
3.2	Objetivos BIM.....	22
3.3	Usos BIM.....	22
3.4	Nivel de Información	23
3.5	Estrategia de colaboración	24
3.5.1	Estructura de carpetas	25
3.6	Estructura de Nombramiento de las Identidades.....	25
3.7	Definición del origen del proyecto.....	26
CAPITULO IV. Modelado del terreno		28
4.1	Método utilizado	28
4.2	Procedimiento.....	28
4.2.1	Nivel de Desarrollo implementado.....	30
4.3	Nomenclatura propuesta.....	31
CAPITULO V. Modelado de la infraestructura vial		32
5.1	Calles.....	32
5.1.1	Materiales implementados	32
5.1.2	Nivel de Desarrollo implementado.....	33
5.1.3	Nomenclatura propuesta	34
5.2	Cordones y caños y bordillos.....	35
5.2.1	Método utilizado	36
5.2.2	Nivel de Desarrollo implementado.....	36
5.2.3	Nomenclatura propuesta	38

5.3	Vados	39
5.3.1	Materiales implementados	40
5.3.2	Método utilizado	41
5.3.3	Nivel de desarrollo implementado	41
5.3.4	Nomenclatura propuesta	43
CAPITULO VI. Modelado de la infraestructura peatonal, muros y gradas		43
6.1	Pisos y aceras	43
6.1.1	Materiales implementados	43
6.1.2	Nivel de Desarrollo implementado	45
6.1.3	Nomenclatura propuesta	49
6.2	Muros	50
6.2.1	Materiales implementados	50
6.2.2	Nivel de Desarrollo implementado	51
6.2.3	Nomenclatura propuesta	54
6.3	Gradas	56
6.3.1	Materiales implementados	56
6.3.2	Nivel de desarrollo implementado	58
6.3.3	Nomenclatura propuesta	60
CAPITULO VII. Modelado de la infraestructura complementaria		61
7.1	Barandas y pasamanos	61
7.1.1	Nivel de desarrollo implementado	62
7.1.2	Ubicaciones	64
7.1.3	Nomenclatura propuesta	65
7.2	Cerramientos especiales	66
7.2.1	Nivel de desarrollo implementado	67
7.2.2	Ubicaciones	69
7.2.3	Nomenclatura propuesta	69
7.3	Bancas	70

7.3.1	Método utilizado	71
7.3.2	Nivel de desarrollo implementado	71
7.3.3	Nomenclatura	73
7.4	Zonas de estacionamiento	74
7.4.1	Materiales implementados	75
7.4.2	Nivel de desarrollo implementado	76
7.4.3	Nomenclatura	77
7.5	Representación visual del modelo.....	79
CAPITULO VIII. Conclusiones y recomendaciones.....		83
8.1	Conclusiones	83
8.2	Recomendaciones	85
CAPITULO IX. Referencias Bibliográficas		88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nuevo complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería.....	1
Figura 2. Flujo metodológico propuesto	10
Figura 3. Nivel de desarrollo de un modelo BIM	14
Figura 4. Modelo BIM Integrado	17
Figura 5. Modelo BIM Federado.....	18
Figura 6. Niveles de Desarrollo según disciplina y tipo de proyecto	23
Figura 7. Niveles de Desarrollo según disciplina y tipo de proyecto (continuación)	24
Figura 8. Origen del modelo.....	27
Figura 9. Origen del modelo (ubicación en sitio)	27
Figura 10. Nube de puntos de la Facultad de Ingeniería	29
Figura 11. Superficie del terreno de la Facultad de Ingeniería	29
Figura 12. Terreno de la Facultad de Ingeniería.....	30
Figura 13. Zonas verdes de la Facultad de Ingeniería	31
Figura 14. Materiales, capas y espesores de las calles	33
Figura 15. Información de un material específico que conforma las calles	33
Figura 16. Calles modeladas.....	34
Figura 17. Información del material que conforma los cordones y caños y bordillos	38
Figura 18. Aplicación de la nomenclatura de vigas	39
Figura 19. Visualización del perfil de los vados.....	41
Figura 20. Capas, materiales y espesores de los vados	42
Figura 21. Información de un material específico que conforma los vados.....	42
Figura 22. Apariencia del material concreto lavado.....	46
Figura 23. Capas, materiales y espesores del piso P1	46
Figura 24. Información del material adoquín de concreto.....	47
Figura 25. Información adicional del piso P4.....	48
Figura 26. Pisos de la Facultad de Ingeniería	48
Figura 27. Aplicación de la nomenclatura de pisos y aceras.....	49
Figura 28. Muro de cercano al edificio administrativo	50
Figura 29. Muro de contención cercano al edificio administrativo.....	52
Figura 30. Información del material gaviones	52
Figura 31. Información adicional de los muros de gaviones.....	53
Figura 32. Muros de la Facultad de Ingeniería	54
Figura 33. Aplicación de la nomenclatura de muros.....	55

Figura 34. Gradas cercanas al edificio de aulas	56
Figura 35. Información adicional de las gradas	59
Figura 36. Aplicación de la nomenclatura de gradas	60
Figura 37. Balaustre de la rampa de acceso a los edificios administrativos y de aulas... 63	
Figura 38. Información adicional en las barandas.....	64
Figura 39. Ubicación de las barandas dentro del modelo.....	65
Figura 40. Aplicación de la nomenclatura de barandas.....	66
Figura 41. Malla electrosoldada de los cerramientos especiales	67
Figura 42. Información adicional de la malla electrosoldada	68
Figura 43. Información adicional de los cerramientos especiales.....	68
Figura 44. Perfil de la banca tipo 3	71
Figura 45. Modelo genérico de la Banca tipo 1.....	72
Figura 46. Información adicional de las bancas tipo 3.....	72
Figura 47. Modelo genérico de Tope de parqueo.....	76
Figura 48. Información del material pintura para carreteras	77
Figura 49. Aplicación de la nomenclatura de todos los modelos genéricos.....	78
Figura 50. Ingreso a los edificios de aulas y administrativos.....	79
Figura 51. Plazoleta principal.....	79
Figura 52. Sector anexo a la plazoleta principal.....	80
Figura 53. Sector cercano al INII.....	80
Figura 54. Laguna de retención pluvial y espacio de parqueos de los edificios de aulas y administrativo.....	81
Figura 55. Rampas de acceso universal de los edificios de aulas y administrativo.....	82
Figura 56. Perspectiva del modelo	82
Figura 57. PAR_G2060.25_BICI_STE_INOX	2
Figura 58. BAN_G2060.25_2_CONC_LISO	2
Figura 59. RAI_B2080.50_BAR_STE_FI	3
Figura 60. RAI_B2080.50_PAS_STE_IE	3
Figura 61. CERR_G2060.20_MALLA_FI.....	4

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Niveles de clasificación del sistema UniFormat.....	16
Cuadro 2. Entornos de datos compartidos utilizados.....	25
Cuadro 3. Estructura de las carpetas utilizada en el CDE.....	25
Cuadro 4. Nomenclatura implementada en el modelo.....	26
Cuadro 5. Nomenclatura implementada para el terreno	31
Cuadro 6. Materiales presentes en las calles.....	32
Cuadro 7. Nomenclatura implementada para las calles	35
Cuadro 8. Cordones y caños y bordillos modelados	35
Cuadro 9. Visualización del perfil de los cordones y caños y los bordillos.....	37
Cuadro 10. Nomenclatura implementada para los cordones y caños y bordillos	38
Cuadro 11. Vados modelados.....	40
Cuadro 12. Materiales presentes en los vados.....	40
Cuadro 13. Nomenclatura implementada para los vados.....	43
Cuadro 14. Acabados de los pisos y aceras presentes en la Facultad de Ingeniería	44
Cuadro 15. Nomenclatura implementada para el nombramiento de los pisos.....	49
Cuadro 16. Materiales presentes en los muros de la Facultad de Ingeniería.....	51
Cuadro 17. Nomenclatura implementada para el nombramiento de los muros	54
Cuadro 18. Visualización de los materiales utilizados para las gradas.....	57
Cuadro 19. Perfiles de las gradas de la Facultad de Ingeniería	58
Cuadro 20. Nomenclatura implementada para el nombramiento de las gradas.....	60
Cuadro 21. Barandas y pasamanos modelados	61
Cuadro 22. Nomenclatura propuesta para el nombramiento de las barandas y pasamanos	66
Cuadro 23. Cerramientos especiales modelados.....	67
Cuadro 24. Nomenclatura propuesta para el nombramiento de los cerramientos especiales	69
Cuadro 25. Bancas modeladas	70
Cuadro 26. Nomenclatura implementada para el nombramiento de las bancas	73
Cuadro 27. Elementos modelados de las zonas de estacionamientos	74
Cuadro 28. Materiales presentes en los elementos de las zonas de estacionamiento	75
Cuadro 29. Nomenclatura implementada para el nombramiento de la infraestructura complementaria de la zona de estacionamientos.....	78

Mora Herrera, David Andrés

Modelado BIM del terreno e infraestructura externa a los edificios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica para la gestión del mantenimiento

Proyecto de Graduación - Ingeniería Civil - San José. C.R.

D. Mora H., 2023

xii, 91, [28]h; ils. col. – 35 refs.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo consistió en crear un modelo BIM 3D del terreno y la infraestructura externa del nuevo complejo de la Facultad de Ingeniería. Este modelo se utilizará como una fuente de información para desarrollar un plan futuro de manejo y mantenimiento. Actualmente, la Oficina de Servicios Generales, encargada de dichas labores, solo lleva a cabo mantenimientos reactivos en las instalaciones, lo cual pone en riesgo el bienestar de los usuarios y aumenta los costos de mantenimiento.

Se desarrolló un modelo que abarca el terreno y la infraestructura vial, incluyendo calles, cordones y caños, bordillos y vados. Además, se ha considerado la infraestructura peatonal, como aceras, pisos, gradas y muros, así como la infraestructura complementaria, como barandas, cerramientos especiales, bancas y zonas de estacionamiento, entre otros elementos. Todo este modelo ha sido creado utilizando el software Revit.

El modelo elaborado cumple con los objetivos propuestos y se ajusta a las recomendaciones de la Cámara Costarricense de Construcción. Se espera que, con este trabajo, la Oficina de Servicios Generales implemente un plan de desarrollo para adoptar la metodología BIM en la operación y mantenimiento de las instalaciones, mejorando así la eficiencia y reduciendo los problemas de mantenimiento existentes.

BIM; FACULTAD DE INGENIERÍA; BIM 7D; OPERACIÓN; MANTENIMIENTO; NUBE DE PUNTOS

Ing. Erick Mata Abdelnour

Escuela de Ingeniería Civil

CAPITULO I. Introducción

1.1 Justificación

1.1.1 Problema específico

El nuevo complejo de la Facultad de Ingeniería se compone de cuatro edificios. De los cuales, el primero es dedicado para aulas de las escuelas de Ingeniería en Biosistemas, Ingeniería Civil, Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Química e Ingeniería Topográfica, el segundo, para las áreas administrativas de las respectivas escuelas. Los dos restantes corresponden a los laboratorios de docencia y a los laboratorios del Instituto de Investigaciones en Ingeniería (INII) (Salas, 2016). Cabe destacar que el edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, el cual fue previamente construido, está dentro del área del nuevo complejo, por lo tanto, compartirá infraestructura con el resto de los edificios anteriormente mencionados. El objetivo de la construcción del nuevo complejo fue reforzar y mejorar el aprendizaje de los estudiantes e impulsar los proyectos de investigación y las iniciativas de acción social (Salas, 2018). En la Figura 1 se observa una representación gráfica de las edificaciones.



Figura 1. Nuevo complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería

Fuente: (Salas, 2016)

Las instalaciones del complejo entraron en funcionamiento en el 2018 para estudiantes, docentes, administrativos y personal de investigación. Aunado a esto, es importante mencionar que desde inicios del 2020 y hasta finales del 2021 las instalaciones no recibieron el aforo para el que fueron diseñados, debido a las lecciones universitarias

virtuales, lo cual fue consecuencia de la pandemia por la COVID-19. Es debido a esto que es posible afirmar que el complejo y en este caso específico, su infraestructura corresponde a edificaciones relativamente nuevas.

Sin embargo, no deja de ser importante tomar en cuenta la previsión para el manejo adecuado y óptimo del complejo en su restante vida útil. Es debido a esto que surge la necesidad de realizar un plan de gestión para el mantenimiento y la operación segura del mismo. Dicho plan, tiene como objetivo principal propiciar el bienestar de la comunidad estudiantil, los docentes, administrativos y el personal de investigación. Además, es importante mencionar que la implementación del mismo también significaría una optimización de los recursos invertidos, lo cual reduciría los costos del mantenimiento.

Actualmente, la Oficina de Servicios Generales (OSG) es el ente encargado del mantenimiento y la gestión operativa de las instalaciones. Debido al acelerado crecimiento que ha presentado la población estudiantil y la infraestructura de la Universidad de Costa Rica en los últimos años, la OSG ha debido asumir la creciente demanda de servicios para el óptimo cumplimiento de los objetivos institucionales. A raíz de esto, la sección de mantenimiento y gestión operacional de la OSG, ha incrementado el personal en las áreas de la administración, arquitectura, ingeniería y la construcción. Sin embargo, la capacidad instalada a la fecha no es consecuente para satisfacer la demanda de los usuarios (Oficina de Servicios Generales, s.f). De esta manera queda evidenciada la necesidad de crear planes para la gestión de la operación y mantenimiento que sean fáciles de ejecutar, eficientes y que optimicen los recursos disponibles de las instituciones involucradas.

Lo referido anteriormente se puede realizar utilizando la metodología BIM. Todo esto, iniciando, mediante el desarrollo de un modelo 3D de la representación de los elementos construidos con su tamaño, forma, ubicación y orientación real en la infraestructura. Posteriormente, utilizando la información propiciada en el modelo "as built" realizado, es posible implementar la séptima dimensión de la metodología BIM. Esto implica incluir dentro del modelo fechas de instalación, revisión, sustitución, protocolos de mantenimiento y otros parámetros relacionados, con el fin de desarrollar un plan para la gestión de la operación segura y mantenimiento de la infraestructura afuera del complejo de edificios de la nueva Facultad de Ingeniería.

1.1.2 Importancia

El ciclo de vida de la construcción en la Ingeniería Civil está compuesto por 4 etapas definidas; el diseño, pre-construcción, construcción y post-construcción. Esta última hace

referencia a la fase operativa de la edificación, la cual comienza desde la apertura de las instalaciones y su posterior uso constante. La operación de una edificación abarca alrededor del 85% del ciclo de vida total del proyecto (Albarello, Gutiérrez-Bucheli, & Ponz-Tienda, 2019), por lo cual, es necesario asegurar la funcionalidad del edificio a lo largo de esta etapa. De lo contrario, la edificación no cumplirá con el ciclo de vida para el cual fue diseñado en las etapas anteriores.

Los métodos actuales de mantenimiento de edificaciones, en su mayoría, son de carácter correctivos o reactivos. Se actúa respondiendo a una necesidad inmediata, solamente cuando se presentan fallas o cuando el deterioro de la estructura es avanzado y visible. Esto pone en peligro la seguridad y el bienestar de los ocupantes del edificio y la infraestructura, generándoles molestias. Y en otros casos, puede detener el uso normal de los mismos (Camacho, 2009). Además, es importante destacar que los costos asociados al mantenimiento correctivo corresponden a aproximadamente 125 veces los de aplicar métodos de mantenimiento preventivo, ya que se pospone la inversión al máximo (Albarello, Gutiérrez-Bucheli, & Ponz-Tienda, 2019).

Por otro lado, en el caso de utilizar metodologías preventivas de mantenimiento, la información utilizada proviene del conocimiento y experiencia del personal de las edificaciones. Generalmente, no existen registros históricos de problemas previos, mantenimientos y reparaciones realizadas en el equipo o estructura del proyecto. Lo cual dificulta prever, identificar, diagnosticar y reparar problemas (Akcemete, Akinci, & Garret, 2010).

A diferencia de los casos anteriores, un modelo BIM puede contar con la descripción de todos los equipos mecánicos, eléctricos y trazados de instalaciones. La identificación de los componentes incluye sus especificaciones técnicas, de modo que permite reemplazar los equipos en mal estado acorde a las especificaciones originales de los proyectistas. Además, mediante una matriz de información permite añadir datos sobre el ciclo de vida de los equipos o elementos instalados, así como actualizar datos acerca de remodelaciones o cambios de ubicaciones en espacios. También, permite programar avisos cuando sea necesario el mantenimiento preventivo o la renovación (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018). Finalmente, cabe destacar la facilidad del análisis visual que este modelo presenta, ya que se pueden identificar no solo el elemento a mantener sino el grupo de elementos que se puedan ver afectados por este (Albarello, Gutiérrez-Bucheli, & Ponz-Tienda, 2019).

El modelo BIM debería referirse a los proyectos y no necesariamente solo a los edificios, en vista de que al modelar los edificios muchas veces es importante incluir información de todo su entorno, el cual toma en cuenta detalles especiales como el terreno, los jardines o la infraestructura (Vargas, 2015). Es necesario considerar la influencia directa que tienen los elementos que componen el entorno de los edificios. Dicho lo anterior, es de suma importancia tomar en cuenta que un mal mantenimiento de ellos podría impedir el acceso a los edificios o en otros casos, accidentes como inundaciones o daños a la estructura del edificio. Además, muchos de los sistemas de los edificios se interconectan y viajan por las zonas exteriores.

Debido a esto, la importancia de realizar el modelo BIM 3D de la infraestructura externa a los edificios del nuevo complejo de la Facultad de Ingeniería recae en la necesidad de brindar la información del estado actual de las instalaciones. Para posteriormente, mediante la metodología BIM y la implementación de su séptima dimensión, realizar un plan de gestión para el mantenimiento y operación eficiente y que optimice al máximo los recursos.

1.1.3 Antecedentes teóricos y prácticos

En Costa Rica, el inicio de la implementación de la metodología BIM en proyectos constructivos se dio en la década pasada. Debido a los resultados satisfactorios obtenidos al utilizarla a lo largo de las etapas de un proyecto, han surgido iniciativas de promover su implementación en el mercado nacional de la construcción. Inicialmente, en el 2017 se conforma "BIM Fórum Costa Rica", un comité técnico bajo la coordinación de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) y el cual forma parte del grupo de trabajo "BIM Fórum LATAM", a nivel interamericano. Este tiene como propósito promover la implementación de los procesos BIM en la industria de la construcción mediante la difusión de información, encuentros y transferencia tecnológica (BIM Fórum Costa Rica, s.f).

Bajo la misma línea, pero con un enfoque más hacia el sector público de la construcción, en el 2019 se crea la "Comisión Interinstitucional para la implementación de la Metodología BIM". Por medio de la cual, en febrero del 2020 se presenta la "Estrategia Nacional BIM", con la coordinación del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). En dicha publicación se plantea una serie de objetivos a nivel gubernamental con la finalidad de lanzar el "Plan BIM Costa Rica", que establecerá los lineamientos, roles, acciones y plazos necesarios para garantizar la adecuada adopción del uso del BIM en nuestro país. De esta manera se creará un marco legal de la metodología BIM con la introducción de un estándar nacional y otras normativas

necesarias, las cuales incluirán BIM en los carteles de contratación pública (MIDEPLAN, 2020)

Al igual que en Costa Rica, en el resto de Latinoamérica también existe la iniciativa de implementar la metodología BIM en la industria de la construcción y los proyectos públicos. Uno de los casos más relevantes es el de Chile, con su implementación del Plan BIM Chile en el año 2016. Dicho Plan fue una iniciativa del Estado que tiene como objetivo incrementar la productividad y sustentabilidad social, económica y ambiental de la construcción mediante el uso de BIM en las instituciones públicas. Además, se estipulan metodologías de trabajo y tecnologías de información y comunicaciones para promover su implementación. Cabe destacar, que bajo el mismo objetivo de generar un uso de la metodología BIM estandarizado, común y transversal a nivel nacional, también publicaron el Estándar BIM y el Plan de Ejecución BIM para Proyectos Públicos (CORFO, s.f)

Por otro lado, la educación superior nacional también se ha visto influenciada por el aumento de la implementación de esta metodología en los proyectos de construcción. Esto debido a iniciativa propia de los estudiantes que encuentran atractivo el mercado actual de la construcción si no, también por la información otorgada por los profesores universitarios con interés en el tema. A raíz de esto, se han generado una serie de trabajos de investigación con respecto al tema en donde se exponen guías para el uso de la metodología, demostraciones de las ventajas que presenta y planes para su implementación.

Entre los trabajos de investigación realizados, se encuentra el de la Ing. Aisha Judieth Vargas Siles. Dicha Ingeniera, realizó el Trabajo de Graduación titulado "Implementación del Modelado de Información de la Edificación (BIM) para detectar diferencias entre diseños de profesionales y facilitar el proceso constructivo" en el 2015. En dicho trabajo se evalúa el funcionamiento de los modelos BIM en el sector constructivo para detectar conflictos entre los diseños eléctricos, mecánicos y estructurales en el proyecto Sportiva Skyhomes. Además, mediante el modelo realizado, generó un rediseño apropiado solucionando los conflictos encontrados, demostrando la utilidad y facilidades de la implementación de la metodología BIM (Vargas, 2015).

El Ing. Luis Manuel Gutiérrez realizó el Trabajo de Graduación titulado "Modelado de un edificio habitacional utilizando la herramienta BIM para la cuantificación de elementos de construcción" en el 2015. El objetivo principal de este proyecto es demostrar la utilidad de la metodología BIM en la cuantificación automática de los diferentes

elementos de diseño en las disciplinas estructurales, arquitectónicas y mecánicas. Para esto, se realizó una comparación entre los elementos colocados en obra y el conteo automático realizado mediante el desarrollo de un modelo BIM 3D (González, 2015).

Por otro lado, destaca el Trabajo de Graduación realizado por el Ing. Leonardo J. Chonkan Líos en el año 2016, el cual se titula "Modelado de Información de Edificios como Herramienta en la Programación de Obra y Mejoramiento de la Constructibilidad". En dicho trabajo, mediante la realización de un modelo 3D del edificio de la Escuela de Matemática de la Universidad de Costa Rica, se comprobaron los beneficios de la implementación de la metodología BIM. Lo anterior, realizando una simulación de la dimensión 4D del proyecto y haciendo una comparación con la programación utilizada en el proceso de construcción (Chonkan, 2016).

La Ing. Irene Campos Salazar realizó el Trabajo Final de Graduación titulado "Guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (costo) del BIM en un proyecto constructivo" en el año 2019. En esta investigación se propuso desarrollar una guía para la implementación de la metodología BIM 5D. En el mismo trabajo, posterior al desarrollo de la guía, se pone a prueba el uso del BIM 5D y se comparan los resultados con la presupuestación de un proyecto real. Se demuestra la eficiencia y precisión que presenta la metodología BIM en comparación con los métodos tradicionales, facilitando la cuantificación de elementos y materiales (Campos, 2019).

Bajo la misma línea de trabajos, pero con un enfoque más hacia la obra pública, el Ing. Mauricio Carmona Zúñiga realizó el Trabajo de Graduación que lleva por nombre "Propuesta para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública de Costa Rica" en el año 2019. En este trabajo se propone una estrategia aplicable a la realidad costarricense para la implementación de la metodología BIM en Costa Rica y en sus proyectos constructivos. Cabe destacar que dicha estrategia fue puesta a revisión bajo un comité de expertos durante el mismo proceso de investigación previo a su publicación, con el objetivo de reafirmar su validez (Carmona, 2019).

Por otro lado, se han realizado una serie de Trabajos de Graduación con el objetivo de crear planes de acción para la implementación de la metodología BIM en empresas constructivas. Entre ellos se encuentra el trabajo del Ing. Cesar Rodríguez Bonilla en el año 2019, el cual se titula "Plan de Acción para la Implementación de la Metodología BIM en las Operaciones de Constructora Costarricense S.A.". En dicho trabajo mediante un organigrama, un análisis FODA y un diagrama de los procesos empleados en la Empresa,

se presenta un plan a seguir para la implementación de la metodología (Rodríguez, 2019). De manera similar, el Ing. Antony Vázquez Flores, realiza su trabajo "Propuesta de un plan para la implementación BIM en la empresa constructora Estructuras S.A." en el año 2020. Se propone un plan de acción BIM en la empresa que pretende establecer flujos de trabajo, una ampliación del equipamiento tecnológico y una incorporación de los softwares necesarios para la implementación de la metodología BIM (Vázquez, 2020). Cabe destacar que el objetivo es incentivar el uso del BIM y que más empresas lo implementen.

Bajo la misma línea, pero con un enfoque en la infraestructura vial, la Ing. Nathalie Brenes Moya realizó su Trabajo Final de Graduación titulado "Implementación de la Metodología BIM en el diseño de proyectos de infraestructura vial de la Organización INTRA Consultores" en el año 2020. En dicho proyecto se busca generar una estrategia que haga más eficaz y transparente los procesos de implementación de la metodología BIM en la empresa. Además, buscó mejorar el grado de madurez empresarial en el año de publicación y, de esta manera, ejecutar los resultados en el año 2021 mediante el diseño y desarrollo de proyectos de infraestructura vial con mayor eficiencia (Brenes, 2020).

Finalmente, el Ing. Dianlly De Armas Afón realizó el trabajo titulado "Modelado BIM del sistema eléctrico y arquitectónico de la nueva Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica para la gestión del mantenimiento durante su ciclo de vida". En su Trabajo Final de Graduación desarrolló, a nivel macro, el mismo objetivo planteado para este proyecto, pero enfocado en el edificio de aulas, específicamente en las disciplinas arquitectónica y eléctrica (De Armas, 2022).

Igualmente, el Ing. Yadir Picado Núñez desarrolló el Trabajo Final de Graduación titulado "Modelado BIM de los sistemas arquitectónico y eléctrico del edificio de laboratorios para docencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica para su mantenimiento y operación". Como su título lo indica, el ingeniero enfocó su trabajo en el edificio de laboratorios de la Facultad de Ingeniería, específicamente en las disciplinas arquitectónica y eléctrica (Picado, 2022).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Generar un modelo BIM 3D del terreno e infraestructura externa a los edificios del nuevo complejo de la Facultad de Ingeniería para ser utilizado como fuente de información en el desarrollo de un futuro plan de manejo y mantenimiento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar un modelo BIM 3D del terreno del lote del nuevo complejo de la Facultad de Ingeniería utilizando el software Revit.
- Desarrollar un modelo BIM 3D de la infraestructura vial de los edificios del nuevo complejo de la Facultad de Ingeniería utilizando el software Revit.
- Realizar un modelo BIM 3D de la infraestructura peatonal del nuevo complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería utilizando el software Revit.
- Confeccionar un modelo BIM 3D de la infraestructura complementaria afuera de los edificios del nuevo complejo de la Facultad de Ingeniería utilizando el software Revit.
- Integrar los distintos modelos realizados mediante las herramientas que proporciona el software Revit.

1.3 Delimitación del problema

1.3.1 Alcance

Este proyecto de graduación tuvo la finalidad de elaborar un modelo 3D utilizando la metodología BIM que comprenda el terreno y la infraestructura externa a los edificios del nuevo complejo de la Facultad de Ingeniería de la UCR. La cual, geográficamente, se ubica específicamente en la Finca 2 o mejor conocida como la Ciudad de la Investigación de la sede Rodrigo Facio. La cual, a su vez se ubica en el distrito de San Pedro, perteneciente al cantón de Montes de Oca en San José.

En el modelo se incluyeron el terreno con sus respectivos taludes y lagunas de infiltración y el sistema vial incluyendo calles, vados, cordones y caños y bordillos. Además, la infraestructura peatonal y complementaria como aceras, plazas, muros, zonas de estacionamiento y gradas forman parte del modelo. Cabe destacar, que se modeló el estado actual de las edificaciones, tomando como base los planos "as built" propiciados por el Decanato de la Universidad de Costa Rica y la Oficina Ejecutora del Programa de Inversiones (OEPI).

El modelo se realizó utilizando el programa computacional Revit, el cual pertenece a la empresa de softwares, Autodesk. Cabe destacar, que la decisión de utilizar dicho software recayó en el producto específico deseado y la facilidad de las herramientas que brinda dicho programa para modelarlo. Por otro lado, es importante destacar que dicha compañía brinda licencias gratuitas para su utilización mediante la modalidad estudiantil. Y, de igual manera, cabe recalcar que se tuvo acceso al mismo en la computadora personal.

Los sistemas de agua potable, sanitarios y pluviales, así como las luminarias, cableado, tubería eléctrica y, en general, todos los sistemas eléctricos, quedan fuera del alcance del presente modelo. Estos aspectos han sido abordados en otro trabajo final de graduación, que se ha desarrollado simultáneamente al presente. Asimismo, es importante señalar que no forma parte del alcance de este proyecto la modelación del acero estructural presente en algunas entidades del modelo.

Además, este proyecto solo brinda el modelo tridimensional, las características de los materiales y las sugerencias de cómo utilizarlo para la futura aplicación de la metodología BIM en su séptima dimensión. Esto con el objetivo de desarrollar un plan de mantenimiento y operación del complejo. La aplicación de la metodología y el desarrollo de este no es parte del alcance de este trabajo, por lo cual, le corresponderá a un futuro proyecto de graduación o al ente encargado.

Bajo la misma línea, en el presente proyecto no se expone una guía para la implementación de la metodología BIM en el desarrollo de un modelo 3D. Y de igual manera, no se da una descripción detallada de los pasos que fueron necesarios para el desarrollo del modelo a lo largo del trabajo. Sin embargo, sí se realiza un seguimiento del avance del modelo a escala macro, el cual incluye los cambios y adiciones efectuados al modelo en el transcurso del tiempo.

1.3.2 Limitaciones

Entre las limitaciones que presenta el proyecto destaca el acceso a la información necesaria para el desarrollo de la tercera dimensión de la metodología BIM. Lo anterior, debido a que la información que presenta el modelo, en caso de que el elemento no sea visible, fue restringida a los datos y los planos constructivos del nuevo complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería que facilite la Oficina Ejecutora del Programa de Inversiones (OEPI). En el caso de que el elemento sea visible, la información es restringida a lo propiciado por los insumos anteriormente mencionados y a la información que fue posible recopilar mediante visitas de campo al complejo y el uso de escaneos láser.

Por otro lado, es importante destacar una limitación significativa en cuanto al desarrollo actual de la metodología BIM en el país. En Costa Rica, la regulación de esta se basa exclusivamente en normativas técnicas INTE/ISO. Es importante destacar que hasta el momento no se han desarrollado leyes, normas o códigos específicos que regulen de manera integral esta metodología en el país. Debido a esto, la elaboración del modelo fue limitada a las guías e información encontrada en las fuentes bibliográficas consultadas.

1.4 Descripción de la metodología utilizada

La metodología implementada para la elaboración del proyecto se muestra en la Figura 2.

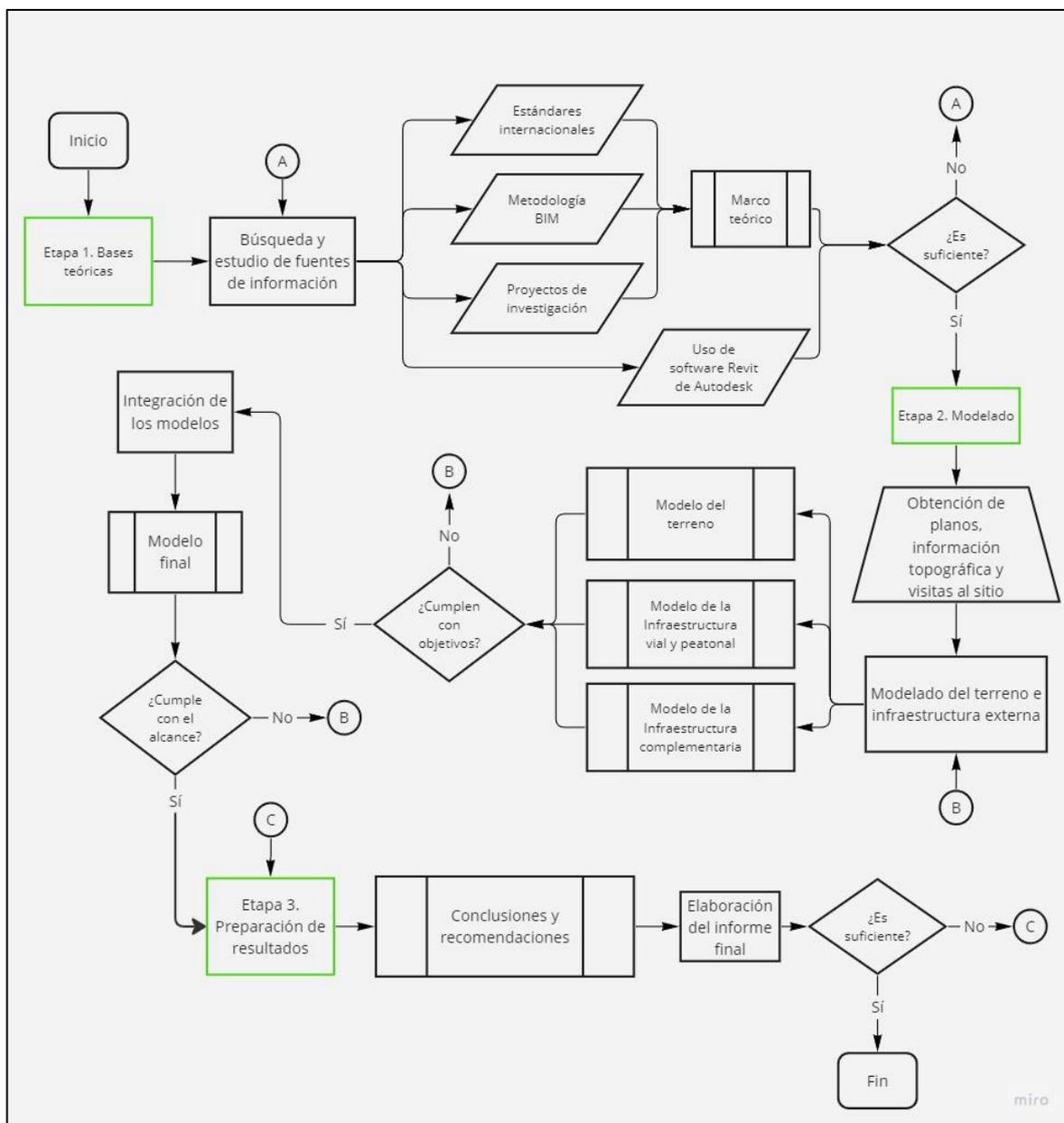


Figura 2. Flujo metodológico propuesto

El presente proyecto de investigación se dividió en 3 etapas definidas. Inicialmente, fue necesario realizar una búsqueda de fuentes bibliográficas pertinentes al tema. El objetivo principal de esto fue encontrar información que permitiera comprender a cabalidad la metodología BIM. De igual manera, se obtuvieron trabajos de investigación o proyectos aplicados con objetivos similares al del presente proyecto, en los cuales se datan experiencias con respecto al modelado BIM 3D utilizando el software Revit de Autodesk.

Y, con esto, se definió un flujo de trabajo detallado para optimizar el desarrollo de los elementos que componen el modelo 3D del terreno y la infraestructura. Además, se creó una base de datos que facilitó la aclaración de las dudas que surgieron durante el modelado.

Después de la comprensión de la metodología BIM y una vez definido un flujo de trabajo claro, se inició con la etapa de modelado. El primer paso fue donde se obtuvieron los insumos necesarios propiciados por la OEPI, específicamente los planos "as built" y constructivos del proyecto. Adicionalmente, se obtuvo la información topográfica mediante un escaneo laser de las condiciones actuales de las instalaciones. Basado en esta información, se desarrolló el modelo del terreno, el cual sirvió como base para el desarrollo del resto de la infraestructura, facilitando la ubicación de los elementos y brindando un perfil más realista al modelo total.

Posteriormente, continuando con el modelado, se confeccionó la infraestructura externa a los edificios del nuevo complejo de la Facultad de Ingeniería. Lo anterior, incluyendo la infraestructura vial, la infraestructura peatonal y la infraestructura complementaria. Cabe destacar que alrededor de la etapa de modelado, las visitas al sitio representaron una fuente de información importante, ya que permitieron confirmar que lo estipulado en los planos constructivos coincidía con lo construido.

Una vez confirmado que los modelos realizados cumplieron con lo estipulado en el alcance y los objetivos específicos del presente proyecto, se procedió a comprobar que los modelos tuvieran una adecuada integración entre ellos. Es decir, mediante las herramientas que el software Revit ofrece, se verificó que no existieran interferencias o discrepancias de información, lo cual no se pudo evitar y se procedió a corregirlas en un nuevo proceso de modelado. Posterior a esto, fue posible dar por finalizada la etapa de modelado.

Por último, se pasó a la tercera etapa, donde se prepararon los resultados obtenidos de la elaboración del modelo para su inclusión en el informe final. En donde, mediante un análisis de los objetivos propuestos inicialmente, se realizaron las conclusiones y recomendaciones al respecto. Una vez finalizado el informe escrito y la presentación final, se entregó el modelo al Decanato de la Facultad de Ingeniería y se dio por finalizado el presente proyecto.

CAPITULO II. Marco teórico

2.1 BIM

Las siglas BIM representan el acrónimo de "Building Information Modeling", lo cual traducido al español representa el Modelado de la Información de una Edificación. Es importante destacar que para el término existen una serie de definiciones, todas con una descripción similar, sin embargo, no existe una definición universal. Según Eloi Coloma Pico (2008) "BIM hace referencia al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar" p.10.

La cantidad de información que almacenen los objetos que componen la edificación dependerá del nivel de detalle que se haya definido previamente. Además, esta metodología propone que a este modelo tengan acceso todas las partes del proyecto, con el fin de mantener información actualizada para todos los involucrados. Lo cual, permite ahorrar tiempo, mejorar la gestión de materiales, corregir errores de diseño, aumentar la eficiencia del proyecto y reducir el impacto de los procesos constructivos en el medio ambiente, pues ayuda a prever la aparición de problemas o inconsistencias (BIM Fórum Costa Rica, s.f).

Es importante destacar que la tecnología BIM tiene presente la idea que una edificación se debe poder estudiar durante todo su ciclo de vida. Esto incluye la fase de diseño, la de construcción y la de operación. Debido a esto, la metodología BIM es aplicable a cada una de las fases de la edificación, no solo la constructiva. Así, sus futuros usuarios podrán acceder a información que les será útil para, por ejemplo, planificar el mantenimiento del edificio o para realizar la reparación de una instalación concreta (Coloma, 2008).

2.2 Dimensiones BIM

La metodología BIM se compone de una serie de dimensiones o áreas de conocimiento, las cuales a su vez hacen referencia a todas las etapas de un proyecto. La aplicación de todas corresponde a la obtención de todos los beneficios por parte de la metodología. Actualmente se encuentran definidas 7 dimensiones de la misma, las cuales según (Brenes, 2020) se definen de la siguiente manera:

- Idea (1D): Esta dimensión establece las condiciones iniciales y las bases como la localización, la definición de un plan de ejecución preliminar mediante las estimaciones iniciales de la superficie, la volumetría y presupuesto inicial.
- El boceto (2D): En esta dimensión se proyectan las primeras líneas del modelo, mediante las cuales es posible realizar los planos constructivos del proyecto.
- Modelo de información (3D): Es una representación gráfica que incorpora toda la información del diseño arquitectónico y el resto de las disciplinas involucradas en la edificación, dando como resultado una idea realista de la parte estética del proyecto. Esta dimensión debe involucrar toda la información necesaria para desarrollar las siguientes dimensiones.
- Planificación (4D): En esta dimensión se incorpora el factor del tiempo en el modelado. En ella, se establecen los plazos de ejecución y su cumplimiento. Lo cual permite una optimización de los plazos de la obra y se minimiza el desperdicio.
- Costos (5D): En la quinta dimensión se generan estimaciones de los gastos del proyecto, mediante presupuestos detallados a partir de estudios precedentes. Se realiza un análisis de estos para determinar la rentabilidad y viabilidad del proyecto.
- Simulación ambiental (6D): En esta dimensión se realizan simulaciones de los distintos comportamientos energéticos o también conocido como "BIM Verde del proyecto". Las simulaciones se dan con el objetivo de determinar las mejores técnicas y tecnologías para optimizar el consumo y minimizar los daños ambientales.
- Gestión del ciclo de vida del proyecto (7D): Finalmente, en la última y más reciente dimensión desarrollada de la metodología BIM, se define una guía o un manual de instrucciones para el uso y mantenimiento del proyecto. Esto, con el objetivo de maximizar la calidad alrededor de los años de vida del proyecto. Además, esta dimensión es la indicadora de necesidades como rehabilitaciones o la demolición final del proyecto.

2.3 Nivel de desarrollo

Según la Cámara Costarricense de Construcción (2018), en base a lo estipulado por la AIA (American Institute of Architects) el nivel de desarrollo o LOD (Level of development), por sus siglas en inglés, hace referencia a la forma de identificar los requisitos mínimos y de usos específicos asociados a cada elemento que compone el modelo BIM final. Es una especie de nivel de confianza otorgado a cada uno de los

elementos modelados. Para esto, se definen 6 niveles que permiten describirlo, los cuales se exponen y se representan gráficamente en la Figura 3:

- LOD 100: Corresponden a símbolos u otras representaciones genéricas que muestran la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación precisa.
- LOD 200: El elemento modelado se representa gráficamente como un sistema genérico de objeto, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximados.
- LOD 300: El elemento modelado se representa gráficamente como un objeto o sistema específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. A partir de este nivel la información deja de considerarse aproximada.
- LOD 350: Se representa el elemento de la misma manera que el nivel anterior, pero en este se encuentra vinculado a otros elementos del diseño. Lo anterior, mostrando conexiones u soportes del elemento con los demás que conforman el modelo.
- LOD 400: Se representan los elementos modelados con la precisión, detalle e información necesaria para su fabricación e instalación.
- LOD 500: El modelado es una representación fiel del elemento de construcción ya ejecutado en obra, con su tamaño, forma, ubicación y orientación real en el proyecto.

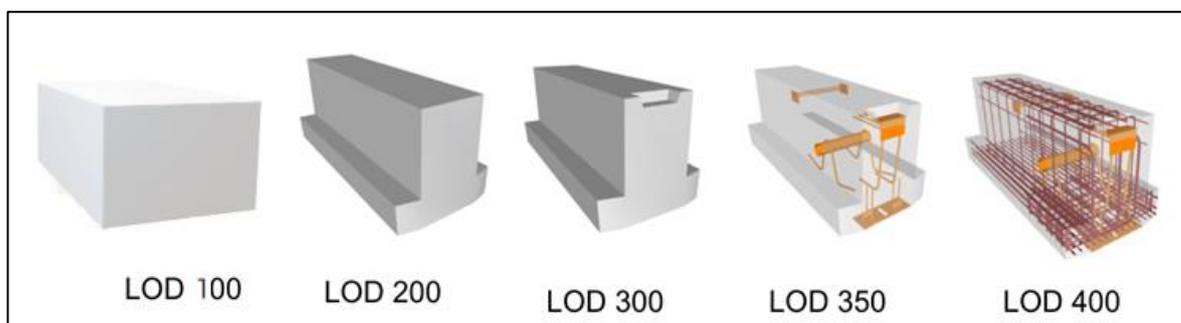


Figura 3. Nivel de desarrollo de un modelo BIM

Fuente: (Mundo BIM, 2017)

Modificada por el autor

Para el presente trabajo se definió el nivel de desarrollo que presentan las identidades modeladas basado en lo estipulado por BIM FORUM en sus especificaciones (BIM FORUM, 2020). Además, se tomaron en cuenta las recomendaciones dadas por la Cámara Costarricense de la Construcción en sus documentos técnicos (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021) con el objetivo de evaluar el desempeño del modelo realizado.

2.4 Plan de ejecución BIM (BEP)

El BEP, por sus siglas en inglés "BIM Execution Plan", es un documento en donde se define un adecuado entendimiento de lo que significará el proceso de ejecución de la metodología BIM. Dicho plan, tiene como objetivo desarrollar una planificación detallada que involucre a todas las partes con sus roles definidos y genere conocimiento de cuál va a ser el uso que se le dé a la información generada, cuáles recursos estarán involucrados y cómo se medirá y analizará el proceso durante el flujo de trabajo y de esta manera, permita una implementación exitosa. Este debe ser completado a lo largo del proyecto para poder observar el avance y realizar las modificaciones pertinentes durante la gestión (Carmona, 2019). Según la Cámara Costarricense de Construcción (2018), el BEP debe presentar los siguientes aspectos:

- Objetivos del proyecto y usos de BIM asociados
- Descripción general de procesos BIM y procedimiento de la planificación
- Diseño del proceso e intercambio de información BIM
- Diseño del flujo de trabajo en el proceso y procedimientos de colaboración
- Nivel de Información requerido
- Definir una estructura de soporte para la implementación del BIM
- Ejecución del procedimiento de Implementación BIM
- Procedimientos de control de calidad y definición de entregables

2.5 Entregables BIM

Son todos los documentos e información, resultantes de los modelos desarrollados implementando la metodología BIM con herramientas de software y flujos de trabajo colaborativo, que tienen como objetivo informar y guiar la construcción, mantenimiento y la gestión de la edificación (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021). Dentro de los entregables se encuentran: Modelos 3D, planos, especificaciones técnicas y/o cualquier documento de relevancia para la gestión y mantenimiento de la edificación.

2.6 Inventario BIM

Es una base de datos estructurada y precisa que almacena información detallada sobre todos los elementos y componentes que conforman el proyecto BIM, ya sea una edificación o su infraestructura, permitiendo una gestión eficiente, un mantenimiento efectivo y una toma de decisiones informadas a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

2.7 Entorno Común de Datos (CDE)

Las siglas CDE representan el acrónimo de "Cardholder data environment", el cual traducido al español es "Entorno Común de Datos". El CDE representa la fuente de información que fue acordada por la persona encargada o equipo de trabajo para cualquier proyecto o activo con el fin de recopilar, gestionar y difundir cada contenedor de información a través de un proceso estructurado y organizado y, en ciertas ocasiones, hasta estandarizado (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021).

2.8 UniFormat

Es un sistema de clasificación de la información de la construcción elaborado por el Instituto de Especificaciones de la Construcción (CSI) y Especificaciones de Construcción de Canadá (CSC). El arreglo de la información utilizado se basa en las partes físicas de las instalaciones, ya sean elementos, sistemas o ensamblajes. En esta estructura organizacional las partes físicas son caracterizadas únicamente por su función y no por su dificultad constructiva, recursos utilizados o los resultados obtenidos (CSI, 2010).

UniFormat provee un orden jerárquico mediante niveles compuesto de los elementos de un proyecto. (Esarte, 2020) caracteriza los niveles utilizados en este sistema de la siguiente manera:

- Nivel 1: categoriza en diferentes clases la información, separados por categorías bajo conceptos que la componen.
- Nivel 2: clasifica la información de estas clases y las ordena manteniendo la letra del nivel 1, añadiendo un número que de dos dígitos que especifica a qué corresponde.
- Nivel 3 y 4: agregan un punto decimal con un código alfanumérico designado para determinar clases y sub-clases dentro del nivel 2 de información.

A continuación, se muestra un ejemplo de clasificación para observar la implementación del sistema y los niveles existentes:

Cuadro 1. Niveles de clasificación del sistema UniFormat

A	SUPERESTRUCTURA	Nivel 1
A10	Fundaciones	Nivel 2
A1010	Fundaciones estándar	Nivel 3
A1010.10	Fundaciones de paredes	Nivel 4

Fuente: (CSI, 2010)

2.9 Modelo BIM Integrado

Es una metodología de trabajo colaborativo y multidisciplinario que trabaja sobre un modelo compuesto por la información que incluye todos los aspectos del proyecto, contenida en un único contenedor de información, desde el diseño hasta la construcción y gestión de las instalaciones (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021). Este tipo de consolidación es poco usual ya que requiere muy alto poder computacional y de red. A continuación, en la Figura 4, se observa un diagrama de la colaboración en un modelo BIM Integrado.

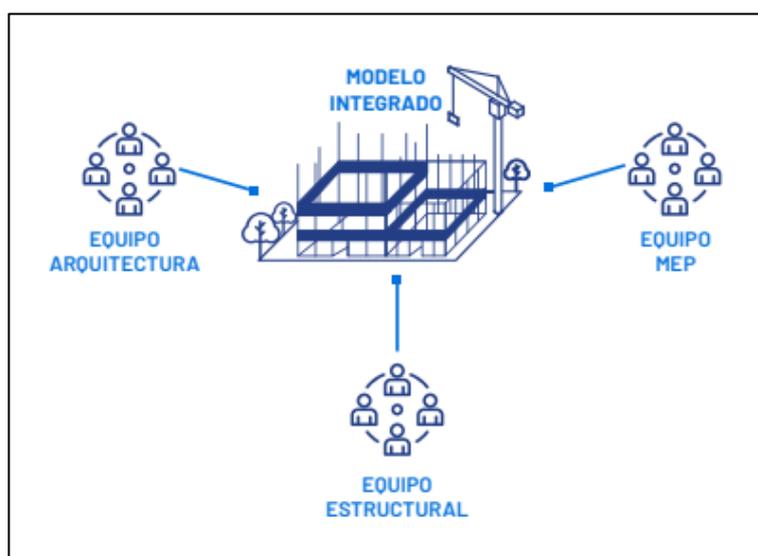


Figura 4. Modelo BIM Integrado

Fuente: (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021)

2.10 Modelo BIM Federado

Es una metodología de trabajo colaborativo en el ámbito de la construcción, la cual es parte de las metodologías BIM y permite coordinar la información de los distintos modelos creados por las diferentes disciplinas que participan en un proyecto de construcción. Tiene como objetivo crear un único modelo que sea coherente y contenga toda la información necesaria para la planificación, diseño, construcción, mantenimiento y gestión del proyecto o para el objetivo único por el cual se desarrolló el modelo (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

El Modelo BIM Federado se basa en el uso de software especializado que permite la creación de modelos BIM, y que además permite la integración de los diferentes modelos en uno único y coherente. Este modelo se actualiza de forma continua y le permite a los involucrados la gestión eficiente de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción y

compartir la información de manera eficiente y eficaz. A continuación, en la Figura 5, se observa un diagrama de la colaboración en un modelo BIM Federado.

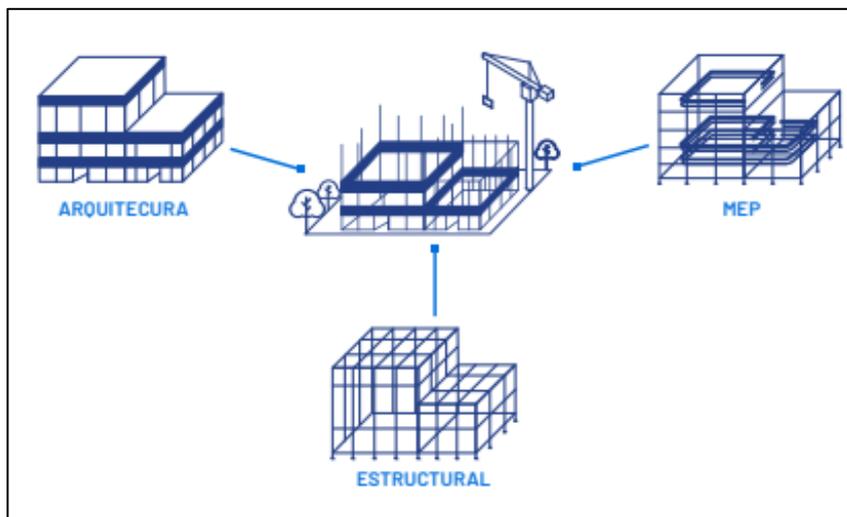


Figura 5. Modelo BIM Federado

Fuente: (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021)

2.11 Modelo "as built"

Se refiere a un modelo que representa las condiciones reales de una construcción o proyecto después de que finalizara la etapa constructiva, en contraposición a un modelo "as designed", que representa las condiciones planificadas o diseñadas del proyecto. El modelo as built es un registro preciso y detallado de la construcción que se puede utilizar para el mantenimiento, la gestión y la planificación futura del proyecto (Kymell, 2008).

Este tipo de modelo contempla todas las disciplinas BIM involucradas dentro del proyecto. Cada una de estas fue actualizada durante la etapa de construcción de acuerdo con las modificaciones efectuadas en obra para representar un modelo fidedigno con lo construido. Por ejemplo, las edificaciones, la infraestructura o inmuebles que requieren de una remodelación o demolición pueden optar por tener información 3D de las condiciones actuales, para poder procesar estos datos por medio de escaneos o mediciones manuales y así obtener de manera precisa y confiable diseños más ajustados a la realidad (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018).

2.12 Modelo de mantenimiento de instalaciones

También conocido como modelo para la gestión de activos. Es la puesta en marcha del modelo "As Built". Este modelo integra la información geométrica, las propiedades físicas y las características funcionales de las instalaciones. Cuenta con la descripción de todos los equipos mecánicos, eléctricos, trazados de instalaciones y cualquier otro

elemento que compone un proyecto. También, permite identificar los componentes en cuanto a sus especificaciones técnicas, de modo que permite reemplazar los equipos en mal estado acorde a las especificaciones originales de los proyectistas y mantener un registro de las modificaciones realizadas al inmueble.

Con los modelos BIM de un proyecto y la actualización de estos en etapas de construcción es posible programar revisiones preventivas y correctivas de equipos o instalaciones del proyecto, además de tener un control sobre inventarios, datos o bien contar con información actualizada por toda la vida útil del inmueble (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018).

2.13 Nube de puntos

La nube de puntos es una técnica de representación tridimensional que consiste en un conjunto de puntos que definen la geometría de un objeto o superficie. Esta es obtenida a través de la captura de información del objeto o superficie de interés mediante herramientas como un escáner láser o una cámara fotogramétrica. El escáner láser emite un haz de luz que se refleja en la superficie del objeto y es capturado por el receptor, generando una nube de puntos que representa la geometría de la superficie. Por otro lado, la cámara fotogramétrica utiliza una serie de fotografías tomadas desde diferentes ángulos para generar una nube de puntos tridimensional (Luhmann, Robson, Kyle, & Harley, 2006).

Esta técnica se utiliza en diversas disciplinas, como la cartografía, la topografía, la arquitectura, la ingeniería, entre otras. Se emplea como una herramienta para la documentación y análisis de objetos como edificios, infraestructura o cualquier superficie existente, permitiendo mayor precisión y detalle que otros métodos de representación. Además, se pueden aplicar diferentes técnicas de análisis para obtener información útil extraída de la nube de puntos, como la generación de modelos 3D, la medición de distancias y áreas, el cálculo de volumen, entre otros (BIMnD, s.f.).

2.14 Cyclone

Es un software de procesamiento de nubes de puntos que se utiliza en diversas ramas como la topografía, la construcción y la ingeniería civil desarrollado por la empresa Leica Geosystems. Permite a los usuarios capturar, modelar y analizar datos provenientes de escaneos laser 3D de manera eficiente y precisa mediante una amplia variedad de herramientas y funcionalidades para la manipulación de datos. Además, Cyclone también ofrece capacidades avanzadas de registro y alineación de nubes de puntos, lo que permite

combinar datos de múltiples escaneos en una única representación 3D del objeto, terreno o la estructura escaneada (Leica Geosystems, s.f.).

En el presente trabajo, se emplearon las dos últimas funciones mencionadas del software. Estas funciones permitieron obtener la representación 3D completa e integral a partir de las distintas nubes de puntos generadas en diversas localizaciones estratégicas.

2.15 Recap Pro

Es una herramienta o software desarrollada por la empresa Autodesk utilizada para el procesamiento de datos de nubes de puntos que permite a los usuarios importar, visualizar y compartir datos de nubes de puntos de edificaciones o condiciones existentes obtenidos a través de diversas tecnologías de escaneo laser 3D o fotogrametría. Recap Pro también incluye herramientas de limpieza y edición de datos para eliminar puntos de ruido, filtrar datos no deseados, alinear y fusionar nubes de puntos, y crear objetos 3D a partir de datos de nube de puntos (Autodesk, s.f.).

En este trabajo en particular, se utilizaron las funciones específicas de limpieza y edición de datos con el fin obtener la representación 3D final. Estas funciones permitieron dejar por fuera todos los elementos o puntos no deseados que formaban parte de la representación inicial.

2.16 Civil 3D

Es una herramienta de software desarrollada por la empresa Autodesk especializada en el diseño y análisis de infraestructuras civiles que utiliza la tecnología BIM para integrar el diseño y la documentación de proyectos de ingeniería civil. Civil 3D es utilizada por diseñadores para crear modelos digitales y simular escenarios de proyectos como carreteras, superficies, puentes, túneles, canales, sistemas de drenaje y otros elementos de infraestructura (Autodesk, s.f.).

Aunque este software ofrece una amplia variedad de funciones, en este trabajo en específico se utilizó exclusivamente para generar el modelo digital de la superficie a partir de la nube de puntos final importada.

2.17 Revit

Es un software de diseño y modelado BIM desarrollado por la compañía Autodesk. Revit ayuda a equipos de arquitectos, ingenieros y constructores a crear edificaciones e infraestructura de alta calidad (Autodesk, 2021). Esta herramienta permite generar y almacenar una gran cantidad de información de elementos de diferentes ramas como la

arquitectura, ingeniería estructural, sistemas eléctricos, sistemas MEP, entre otros. Debido a esto Revit es uno de los softwares BIM más utilizados a nivel mundial.

Para este trabajo en específico, se utilizó este software para integrar tanto el desarrollo del modelo como la captura de la información de los diferentes materiales y elementos.

2.18 Modelo del terreno

También conocido como modelo topográfico. Estos modelos muestran las condiciones reales de un terreno o bien los movimientos de tierra de una superficie. Estos modelos se generan a partir de la geometría de las curvas de nivel del terreno según lo indicado en los levantamientos topográficos, planos de topografía o en base a nubes de puntos tomados mediante escáner laser, el cual es el caso del presente trabajo. Este modelo contempla información paramétrica o información planimétrica que permite calcular el volumen real de tierra según estratos, cuando se incorpora en los modelos la información del proyecto de mecánica de suelos (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018).

2.19 Modelo de la Infraestructura

Es la representación tridimensional y digital de los elementos y componentes de una infraestructura. Este permite identificar las obras exteriores más importantes del proyecto, identificar empalmes y tránsito en sectores de circulación, y obtener información planimétrica. Los modelos de infraestructura comprenden la construcción y mejoramiento de carreteras, ferrovías, oleoductos, tendidos eléctricos, puertos, aeropuertos, represas, centrales hidroeléctricas (Cámara Costarricense de la Construcción, 2018).

CAPITULO III. Plan de Ejecución BIM (PEB)

En el presente capítulo se exponen los puntos de mayor relevancia expuestos en el Plan de Ejecución BIM, el cual se presenta en el Apéndice B. En este caso se implementó la plantilla propuesta por la Universidad de Florida del Sur, denominada "Plantilla de Plan de Ejecución BIM de proyectos para arquitectos, ingenieros y contratistas" (University of South Florida, 2018).

3.1 Resumen

Para llevar a cabo con éxito la aplicación de la metodología BIM y alcanzar los objetivos de rendimiento establecidos para el proyecto, se elaboró un Plan de Ejecución BIM (PEB). Este documento proporciona una guía clara para la ejecución de tareas relacionadas con el modelado de los elementos, de acuerdo con los estándares BIM. En él se establecen los usos BIM que se implementarán, así como una estructura de trabajo colaborativa para garantizar una gestión eficiente de la información durante todo el ciclo de vida de la Facultad de Ingeniería.

Es importante destacar que el Plan de Ejecución BIM es un documento dinámico que se actualizará y adaptará según las necesidades de la Oficina de Servicios Generales (OSG), para mantener un flujo de trabajo colaborativo a lo largo de la vida de todo el proyecto. Con esta herramienta, se pretende optimizar el uso de los recursos y reducir los costos de mantenimiento, mejorando la eficiencia y calidad del proyecto.

3.2 Objetivos BIM

Los objetivos BIM interpuestos en el PEB para llevar a cabo el modelo fueron los siguientes:

- Contar con un inventario gráfico de los componentes principales de la edificación
- Integrar información de diferentes disciplinas (como arquitectura, estructuras, instalaciones, entre otras) en un mismo modelo
- Establecimiento de los niveles de desarrollo y niveles de información requeridos para el modelo BIM
- Definición de las herramientas y tecnologías necesarias para la creación y gestión del modelo BIM

3.3 Usos BIM

Los principales usos BIM que se pueden desarrollar utilizando el modelo confeccionado son los siguientes:

- Programación del mantenimiento

- Gestión de activos
- Planificación ante desastres
- Modelado de las condiciones existentes

3.4 Nivel de Información

Los niveles de información de cada disciplina del proyecto se definirán mediante los denominados niveles de desarrollo (LOD). El nivel de desarrollo para todos los elementos proyectados en las distintas disciplinas seguirá lo especificado en los estándares referentes a nivel mundial por BIM FORUM en sus especificaciones. (BIM FORUM, 2020).

Según los usos y objetivos BIM propuestos, los elementos modelados se evaluarán según las siguientes figuras extraídas de los documentos técnicos publicados por la Cámara Costarricense de la Construcción, específicamente, en su Guía Para la Elaboración de una Solicitud de Información BIM.

ESTADOS DE AVANCE DE LA INFORMACIÓN DE LOS MODELOS		TIPOS DE ELEMENTOS EN MODELOS BIM								
		Ejes	Terreno	Elementos Civiles	Elementos Geográficos	Fundaciones	Zonas/Espacios	Columnas	Vigas	Losas
PLANIFICACIÓN	EP ESTUDIOS PRELIMINARES	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	EST ESTUDIOS TÉCNICOS	NA	LOD 100	LOD 200	LOD 200	NA	NA	NA	NA	LOD 100
	DC DISEÑO CONCEPTUAL	LOD 200	LOD 100	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200
DISEÑO	DA DISEÑO DE ANTEPROYECTO	LOD 200	LOD 100	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200
	DD DESARROLLO DEL DISEÑO	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300
CONSTRUCCIÓN	CC COORDINACIÓN DE CONSTRUCCIÓN	LOD 300	LOD 300	LOD 350	LOD 300	LOD 300	LOD 350	LOD 300	LOD 300	LOD 350
	CM CONSTRUCCIÓN, FABRICACIÓN Y MONTAJE	LOD 300	LOD 300	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 350
	AB AS BUILT	LOD 300	LOD 300	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400
OPERACIÓN	PM PUESTA EN MARCHA	LOD 300	LOD 300	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400
	OM OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	LOD 300	LOD 300	LOD 500	LOD 350	LOD 350	LOD 500	LOD 350	LOD 350	LOD 400

Figura 6. Niveles de Desarrollo según disciplina y tipo de proyecto

Fuente: (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021)

→	TIPOS DE ELEMENTOS EN MODELOS BIM											
	Muros	Muros Cortina	Ventanas	Puertas	Cubiertas/Techos	Cielos Falsos/Acabados	Escaleras/Rampas	Equipos e Instalaciones	Muebles	Estructuras Especiales	Equipamiento electromecánico	Distribución y tuberías
	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 100	LOD 100	LOD 200	NA	NA	NA	NA	NA
	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 100	LOD 100	LOD 200	LOD 100	LOD 100	LOD 100	LOD 100	LOD 100
	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200
	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300
	LOD 300	LOD 300	LOD 350	LOD 350	LOD 300	LOD 350	LOD 300	LOD 350	LOD 300	LOD 300	LOD 350	LOD 350
	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 400
	LOD 350	LOD 400	LOD 400	LOD 400	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 400	LOD 400	LOD 400	LOD 400	LOD 400
	LOD 350	LOD 400	LOD 400	LOD 400	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 500	LOD 400	LOD 400	LOD 500	LOD 500
	LOD 350	LOD 500	LOD 500	LOD 500	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 500	LOD 400	LOD 400	LOD 500	LOD 500

Figura 7. Niveles de Desarrollo según disciplina y tipo de proyecto (continuación)

Fuente: (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021)

3.5 Estrategia de colaboración

Este trabajo se llevó a cabo en estrecha colaboración con otras disciplinas de interés, tales como la pluvial, eléctrica, potable y mecánica, las cuales fueron abordadas por otro modelador. Para lograr una integración efectiva y coordinada se implementó la metodología de trabajo de modelos BIM federados. En este mismo contexto, se estableció una comunicación constante y fluida entre ambas partes, permitiendo intercambiar información relevante, coordinar esfuerzos y resolver los conflictos o incompatibilidades entre las disciplinas.

Para la colaboración con las otras disciplinas involucradas, se definió un Entorno Común de Datos (ECD) en donde se guardaron todos los archivos relacionados con el proyecto, incluyendo las familias generadas, modelos, acabados, fichas técnicas, planos y cualquier otro documento que se consideró de importancia. Cabe destacar que los datos cargados fueron actualizados paulatinamente debido a la dinamicidad del proyecto, lo cual permitió cumplir el objetivo de lograr una buena integración de los modelos.

En el Cuadro 2 se detallan los entornos de datos compartidos utilizados durante el desarrollo del proyecto.

Cuadro 2. Entornos de datos compartidos utilizados

ENTORNO DE DATOS COMPARTIDOS	
Plataformas y formatos del Entorno de Datos Compartidos	
Entorno de Datos Compartidos (CDE):	OneDrive
Plataforma de colaboración:	Revit
Plataforma de gestión documental	OneDrive

3.5.1 Estructura de carpetas

Para facilitar la colaboración con las demás disciplinas involucradas, erradicar la duplicidad de archivos y evitar utilizar versiones incorrectas, se siguió una estructura de carpetas en conjunto con su nomenclatura definidas previamente. En el Cuadro 3 se observa la estructura de las carpetas utilizada.

Cuadro 3. Estructura de las carpetas utilizada en el CDE

MODELO INFRAESTRUCTURA	INFRA_INFRA (Infraestructura) ↳ 0#_Descripción (Ejemplo: 01_PLANOS) ↳ 0#.#_Descripción (Ejemplo: 01.1_INFRAESTRUCTURA) ↳ 0#.#.abc_Descripción (Ejemplo: 01.1.a_PDF)
-----------------------------------	--

3.6 Estructura de Nombramiento de las Identidades

Con el objetivo de organizar y comprender la información de manera más concisa y eficiente, se optó por implementar una nomenclatura para el nombramiento de todas las identidades que conforman el modelo. En este caso, al tratarse de un modelo federado con otros, la falta de una nomenclatura clara o mal empleo de la misma podría generar confusiones y dificultades a la hora de analizar y trabajar con los demás modelos y la información que contienen. En el Cuadro 4 se puede observar la nomenclatura implementada en el modelo.

Cuadro 4. Nomenclatura implementada en el modelo

Terreno	Nombre	TER_UNIF
Calles	Familia	Slab Floor (predeterminada de Revit)
	Tipo	CL_UNIF_Material_Espesor
Cordones y caños y Bordillos	Familia	Identificador_UNIF_Material
	Tipo	N/A
Vados	Familia	Floor (predeterminada de Revit)
	Tipo	VD_UNIF_Material
Pisos	Familia	Floor (predeterminada de Revit)
	Tipo	PS_UNIF_Identificador_Material_Acabado
Muros	Familia	Basic wall (predeterminada de Revit)
	Tipo	MR_UNIF_Función_Material_Espesor_Altura
Gradas	Familia	Cast in Place Stair (predeterminada de Revit)
	Tipo	GRD_UNIF_Material_Acabado_Contrahuella
Barandas y pasamanos	Familia	Railing (predeterminada de Revit)
	Tipo	RAI_UNIF_Uso_Material_Ubicación
Cerramientos especiales	Familia	Curtain wall (predeterminada de Revit)
	Tipo	CERR_UNIF_Material_Ubicación
Modelos genéricos o Componentes cargados		
Zona de estacionamientos	Familia	PAR_UNIF_Tipo
	Tipo	Descripción_Material_Acabado
Bancas	Familia	BAN_UNIF_Tipo
	Tipo	Identificador_Material_Acabado

3.7 Definición del origen del proyecto

Es esencial establecer un punto de partida común para todos los elementos que conforman el modelo, el cual es el punto cero u origen. Es importante que el origen definido sea un punto en común con los demás modelos federados, ya que esto permite enlazar, integrar y analizar los modelos sin tener que realizar mucho trabajo adicional.

Se determinó que el origen del modelo se ubica en la columna de la esquina superior izquierda del edificio de Aulas de la Facultad de Ingeniería. Específicamente, este punto puede ser encontrado en los ejes A-1 de los planos arquitectónicos del edificio. Además, es importante mencionar que este punto se encuentra en la coordenada (N 1098799.41, E 495101.72) del sistema coordenado CRTM05.

A continuación, en la Figura 8 se observa un extracto del modelo en donde se puede observar claramente la ubicación de este punto.

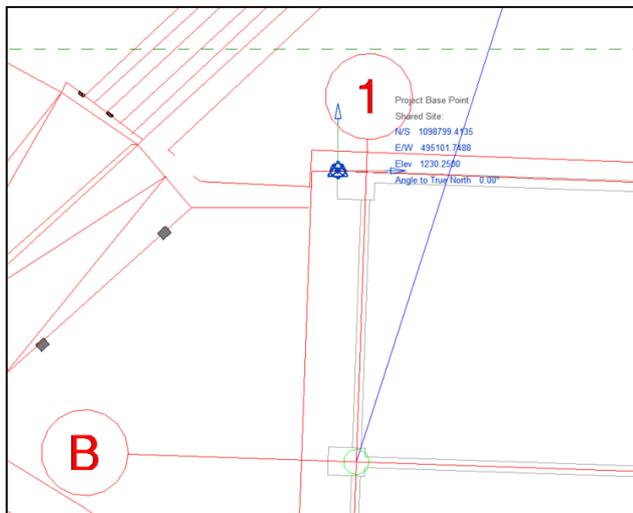


Figura 8. Origen del modelo

Además, en la Figura 9 se observa, mediante una fotografía tomada en el sitio, la ubicación del origen utilizado en el modelo.



Figura 9. Origen del modelo (ubicación en sitio)

CAPITULO IV. Modelado del terreno

Como se ha mencionado en secciones anteriores, el terreno ha sido previamente intervenido y se han construido los edificios de aulas, laboratorios, centro de investigación y oficinas administrativas. Además de las edificaciones construidas, también se desarrolló la infraestructura que incluye los sistemas de transporte, áreas sociales, suministro de servicios básicos, entre otros. Debido a lo anterior, el terreno existente y las condiciones modeladas corresponden a una superficie modificada por las obras civiles mencionadas y no la condición en verde inicial o previo al desarrollo.

4.1 Método utilizado

Con el objetivo principal de obtener una representación precisa y detallada de la topografía, la forma y las características del terreno actual se optó por utilizar un escaneo 3D con tecnología láser como base para el modelado del terreno. De manera más específica, se capturó una nube de puntos tridimensionales que representan la superficie del terreno y cualquier objeto que se encuentre en ella, en este caso las edificaciones y su infraestructura.

4.2 Procedimiento

De manera resumida, el procedimiento utilizado para modelar el terreno se indica a continuación:

- a. Escaneo: mediante la fijación de los escáners o estaciones en un trípode, se realizó el levantamiento de un total de 58 escaneos en ubicaciones seleccionadas estratégicamente.
- b. Procesamiento de datos: Una vez completados los escaneos, los datos recopilados se procesaron y se transformaron en una nube de puntos 3D. Esto requirió de un software especializado para realizar el registro de los datos y la combinación de los múltiples escaneos, el cual se denomina Cyclone.
- c. Edición de la nube de puntos: mediante el programa computacional ReCap Pro, la nube de puntos resultante fue editada para eliminar cualquier ruido residual o puntos no deseados, esto incluye elementos como automóviles, autobuses, personas, aves, entre otras cosas. En la Figura 10 se puede observar la nube de puntos utilizada.



Figura 10. Nube de puntos de la Facultad de Ingeniería

Es importante mencionar que la nube de puntos presentada anteriormente no solo fue utilizada para la creación del terreno, sino también como un insumo para asegurar que los elementos modelados coincidieran con las condiciones reales construidas.

- d. Importación de la nube de puntos: para la creación de la superficie, se procedió a importar la nube de puntos en el software, el cual en este caso corresponde a Civil 3D.
- e. Creación de una superficie: una vez importada la nube de puntos, utilizando las herramientas brindadas por el software y definiendo los parámetros deseados fue posible generar la superficie, la cual se puede observar en la Figura 11.

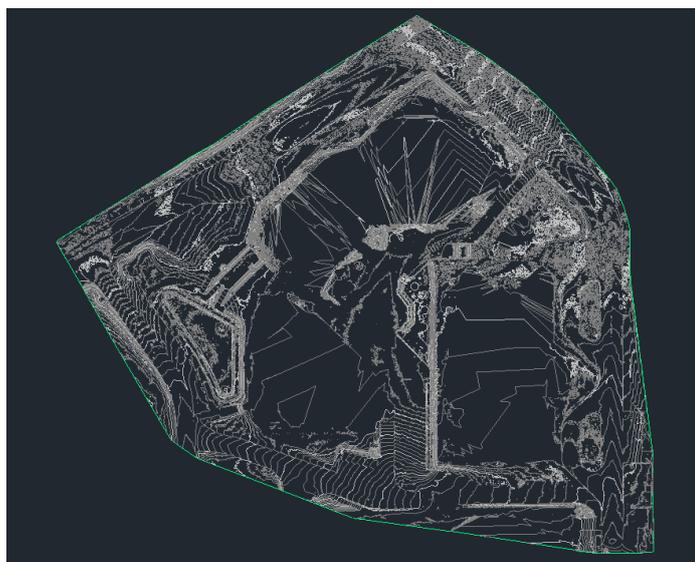


Figura 11. Superficie del terreno de la Facultad de Ingeniería

- f. Importación de la superficie: finalmente, se importa la superficie creada en el software Civil 3D al software Revit y utilizando la herramienta de "Creación de masas", que permite crear volúmenes geométricos, fue posible crear el terreno con sus diferentes alturas, pendientes y características específicas como se observa en la siguiente figura.

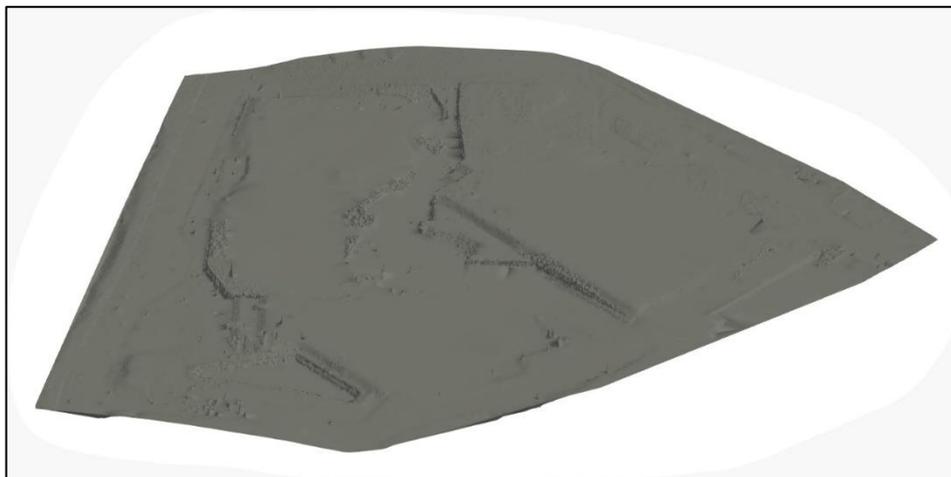


Figura 12. Terreno de la Facultad de Ingeniería

Es importante tener en cuenta que el procedimiento de modelado de un terreno puede variar según los softwares utilizados.

4.2.1 Nivel de Desarrollo implementado

El modelado del terreno se efectuó utilizando una representación digital de las condiciones actuales, por lo que el nivel de desarrollo es suficiente como para generar una representación gráfica fidedigna de la topografía existente el complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería. Este se separó en superficies independientes para representar cada una de las zonas verdes existentes y la superficie de la facultad, la cual hace referencia a la base topográfica sobre la cual se desarrollaron cada uno de los elementos que conforman el modelo. En la Figura 13, se observan las zonas verdes modeladas.

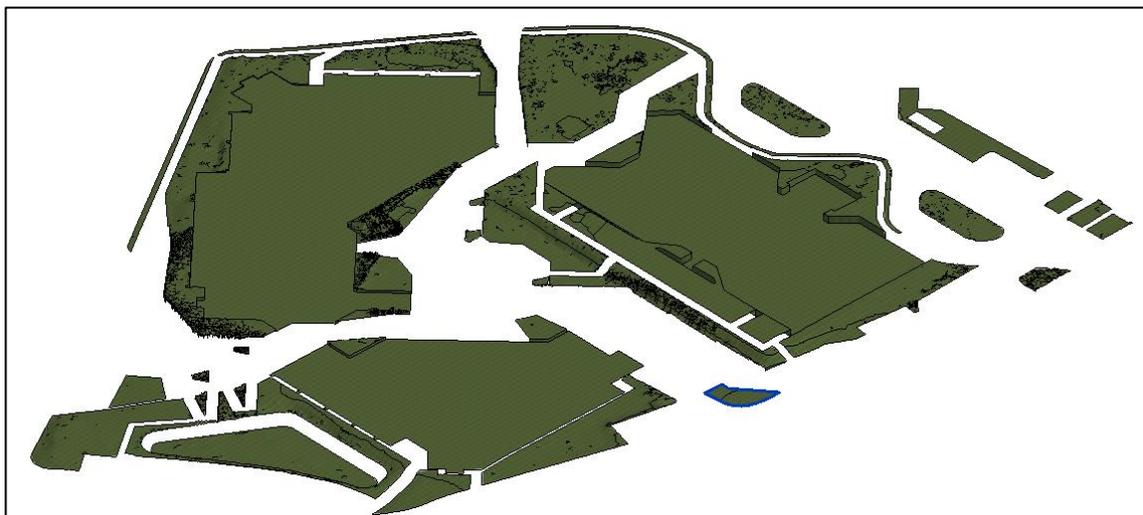


Figura 13. Zonas verdes de la Facultad de Ingeniería

Se utilizó un nivel de desarrollo de LOD-350 basándose en la información topográfica existente extraída del escaneo láser realizado. En el modelo se representan todas las pendientes, caídas de altura y, en general, todos los elementos existentes que definen la superficie actual afuera de los edificios del complejo de la Facultad de Ingeniería. Según la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) un modelo del terreno que será utilizado para el mantenimiento y operación debe tener un LOD-300, por lo que lo modelado está por encima de la recomendación.

4.3 Nomenclatura propuesta

Para identificar el terreno de los demás elementos que forman el modelo, se utilizó una nomenclatura basada en el UniFormat. Dicha nomenclatura se puede observar en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Nomenclatura implementada para el terreno

Nomenclatura: Terreno	
Nombre: TER_UNIF	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Landscaping	G2080
Turf and grasses	G2080.20
Función	
Superficie	SUP
Zona verde	ZV

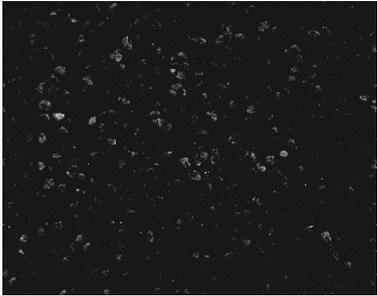
CAPITULO V. Modelado de la infraestructura vial

5.1 Calles

5.1.1 Materiales implementados

Para la elaboración de las calles se utilizaron 3 materiales, los cuales representan cada una de las capas expuestas en los planos "as built". Cada uno de los materiales y su representación gráfica dentro del modelo se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Materiales presentes en las calles

Material y acabado	Visualización
Pavimento	
Base	
Subbase	

5.1.2 Nivel de Desarrollo implementado

El modelado de las calles se efectuó utilizando un nivel de desarrollo suficiente como para generar una representación gráfica confiable, tal y como se observan construidas en el complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería. Además, estas poseen los espesores estipulados en los planos, así como los datos relevantes de cada uno de los materiales que forman sus capas, como se observa en la Figura 14.

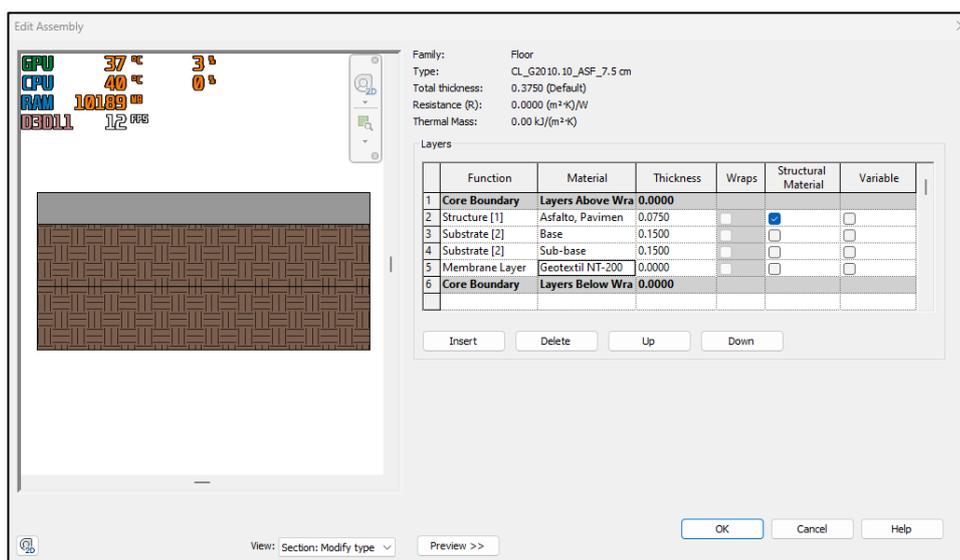


Figura 14. Materiales, capas y espesores de las calles

A estos materiales se les dotó de información relevante como su resistencia, datos de compactación, entre otros. Esta información se incluyó dentro del modelo, mediante la pestaña de "Identidad", presente en todos los materiales del programa. Lo mencionado anteriormente se representa en la Figura 15, tomando como ejemplo el material Sub-base.

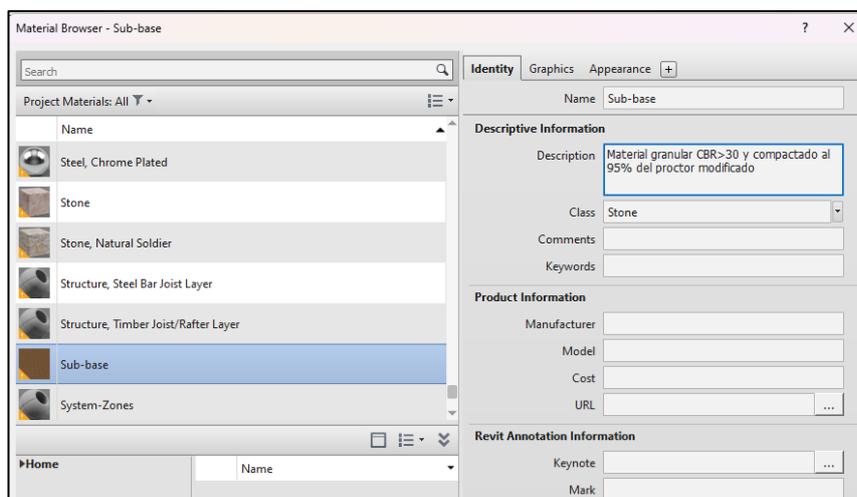


Figura 15. Información de un material específico que conforma las calles

Para representar las calles, se utilizó un nivel de desarrollo de LOD-500 que incluye toda la información necesaria para construir estos sistemas, considerando la geometría, espesores, elevaciones, cantidad y especificaciones. Además, se verificó la precisión del modelo mediante una nube de puntos, confirmando que la representación se ajusta a la situación actual. Con respecto a la infraestructura vial, la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) recomienda un LOD-400 para un modelo "as-built" y un LOD-500 para un modelo utilizado para la operación y mantenimiento. De esta manera, se puede confirmar que las identidades de calles satisfacen el nivel de desarrollo recomendado por la CCC.

A continuación, se adjunta una figura en donde se muestran todas las calles del modelo:



Figura 16. Calles modeladas

5.1.3 Nomenclatura propuesta

Para identificar las calles de los demás elementos que forman el modelo, se utilizó una nomenclatura basada en el UniFormat, material y su respectivo espesor. Dicha nomenclatura se puede observar en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Nomenclatura implementada para las calles

Nomenclatura: Calles	
Familia: Slab Floor (predeterminada de Revit)	
Tipo: CL_UNIF_Material_Espesor	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Roadways	G2010
Roadway Pavement	G2010.10
Material	
Asfalto	ASF

5.2 Cordones y caños y bordillos

En el siguiente cuadro se exponen gráficamente, mediante fotografías tomadas del sitio, los elementos modelados:

Cuadro 8. Cordones y caños y bordillos modelados

Elemento (UniFormat)	Fotografía
Cordones y caños (CC_G2010.20_CONC)	

Elemento (UniFormat)	Fotografía
Bordillos (BD_G2010.20_CONC)	

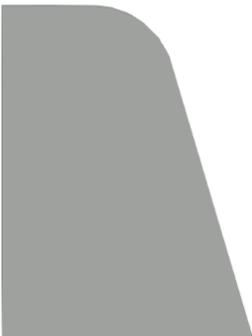
5.2.1 Método utilizado

Con el objetivo de poder cuantificar en un futuro los materiales utilizados en la construcción de la infraestructura del complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería se optó por modelar los cordones y caños y bordillos utilizando familias de vigas. Se consideró realizar el modelado utilizando la herramienta de "modelado en sitio" que presenta el programa Revit, sin embargo, esta no permite un análisis adecuado de los elementos modelados, sino más bien únicamente la generación de sólidos sin propiedades cuantificables. A diferencia de la herramienta anteriormente mencionada, las familias de vigas presentan propiedades similares a las deseadas y permiten cumplir los objetivos definidos.

5.2.2 Nivel de Desarrollo implementado

El modelado de los cordones y caños y bordillos se efectuó utilizando un nivel de desarrollo suficiente como para generar una representación gráfica confiable, tal y como se observan los elementos construidos en el complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería. Cada uno de ellos cuenta con la respectiva sección transversal o perfil respetando las medidas detalladas en los planos "as built". Esto se observa en el Cuadro 9

Cuadro 9. Visualización del perfil de los cordones y caños y los bordillos

Elemento	Visualización perfil
Cordón y caño	
Bordillo	

Al material que conforma los elementos se le dotó de información relevante como su resistencia a la compresión y método constructivo empleado. Esta información se incluyó dentro del modelo, mediante la pestaña de "Identidad", presente en todos los materiales del programa Revit. Lo mencionado anteriormente se representa en la Figura 17.

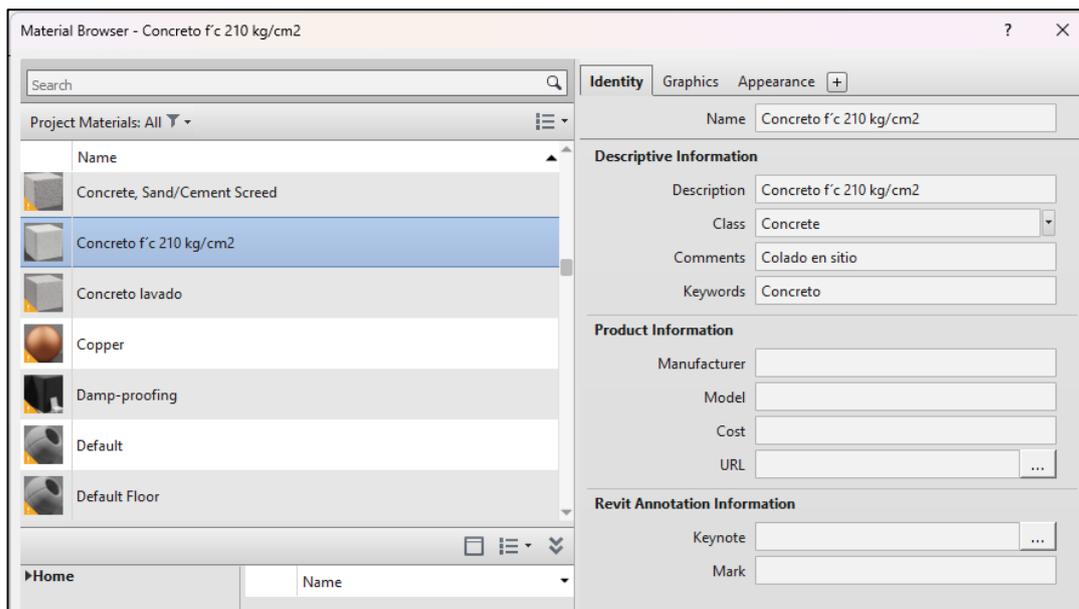


Figura 17. Información del material que conforma los cordones y caños y bordillos

Para modelar los cordones y caños y bordillos se utilizó un nivel de desarrollo de LOD-400, ya que a pesar de que se modelaron respetando la geometría, espesores, elevaciones, cantidad, ubicación y especificaciones, no se modeló el acero de refuerzo que presentan estos elementos, lo cual imposibilita adjudicarles un LOD-500. Según las recomendaciones de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) para modelos de infraestructura vial, los elementos modelados cubren las expectativas de un modelo "as-built", pero no de uno para la operación y mantenimiento.

5.2.3 Nomenclatura propuesta

Para identificarlos entre ellos y de los demás elementos que forman el modelo, se utilizó una nomenclatura basada en un identificador, el UniFormat y su respectivo material. Dicha nomenclatura se puede observar en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Nomenclatura implementada para los cordones y caños y bordillos

Nomenclatura: Cordones y Caños y Bordillos	
Familia: Identificador_UNIF_Material	
Tipo: N/A	
Identificador	
CC	Cordones y caños
BD	Bordillo

Nomenclatura: Cordones y Caños y Bordillos	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Roadways	G2010
Roadway Curbs and Gutters	G2010.20
Material	
Concreto	CONC

La implementación de la nomenclatura anterior se presenta en la siguiente figura, donde se muestran mediante el "Project Browser" las vigas generadas en el modelo para representar los cordones y caños y bordillos.

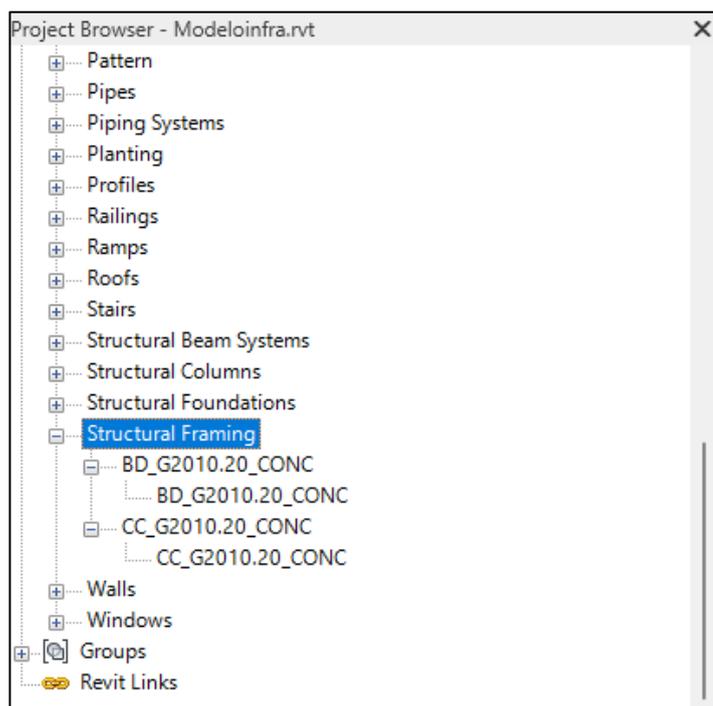


Figura 18. Aplicación de la nomenclatura de vigas

5.3 Vados

En el siguiente cuadro se exponen gráficamente, mediante fotografías tomadas del sitio, los elementos modelados:

Cuadro 11. Vados modelados

Elemento (UniFormat)	Fotografía
Vados (VD_G2010.20_CONC)	

5.3.1 Materiales implementados

Para la elaboración de los vados se utilizaron 2 materiales, los cuales representan cada una de las capas expuestas en los planos "as built". Cada uno de los materiales y su representación gráfica dentro del modelo se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Materiales presentes en los vados

Material y acabado	Visualización
Concreto	
Base	

5.3.2 Método utilizado

Con el fin de alcanzar el mismo objetivo mencionado en la sección anterior, se decidió utilizar un tipo de piso estructural o losa para modelar los vados. A diferencia de los elementos mencionados anteriormente, el modelado de los vados tenía una sección transversal más sencilla y una mayor variación de niveles topográficos en ambas direcciones. Debido a estas razones, se optó por utilizar un tipo de piso que posee propiedades similares a las deseadas y que permite alcanzar los objetivos definidos.

Modelar los vados utilizando otros métodos, como por ejemplo familias de vigas, no hubiera sido posible ya que estos elementos no permiten variar los niveles o elevaciones en ambas direcciones, sino solo al inicio y final de la dirección longitudinal del elemento. Además, utilizar losas permitió representar todas las capas y sus respectivos materiales que componen a los vados de la Facultad. Es por estas razones que se considera que el método elegido corresponde al más apropiado para modelar estos elementos.

5.3.3 Nivel de desarrollo implementado

Se modelaron los vados con un nivel de desarrollo suficiente para generar una representación gráfica confiable y precisa, acorde a su construcción en el complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería. Cada uno de ellos incluye la sección transversal correspondiente con las medidas detalladas en los planos. Lo anterior se observa en la siguiente imagen:

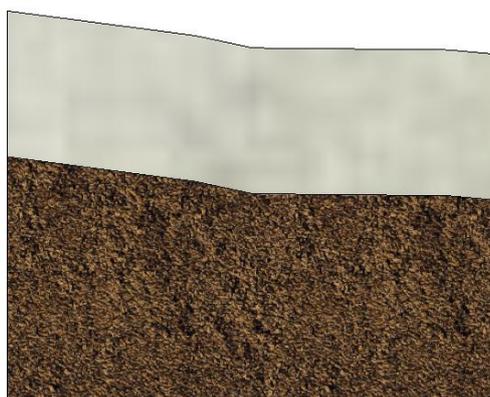


Figura 19. Visualización del perfil de los vados

Además, los vados modelados incluyen las capas con los espesores indicados en los planos "as-built", junto con información relevante de los materiales que forman cada una de sus capas.

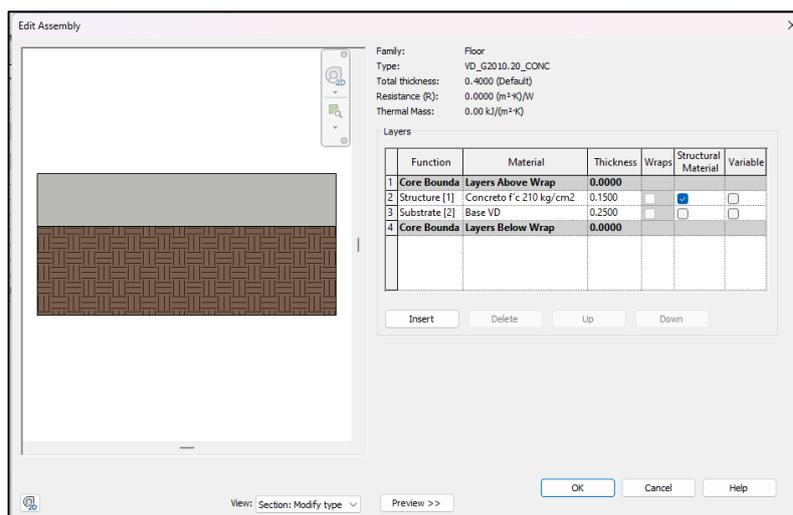


Figura 20. Capas, materiales y espesores de los vados

A los materiales que conforman los vados se les dotó de información relevante como su resistencia a la compresión, método constructivo empleado, porcentaje compactación, entre otras. Esta información se incluyó dentro del modelo, mediante la pestaña de "Identidad", presente en todos los materiales del programa. Lo mencionado anteriormente se representa en Figura 21, tomando como ejemplo el material Base.

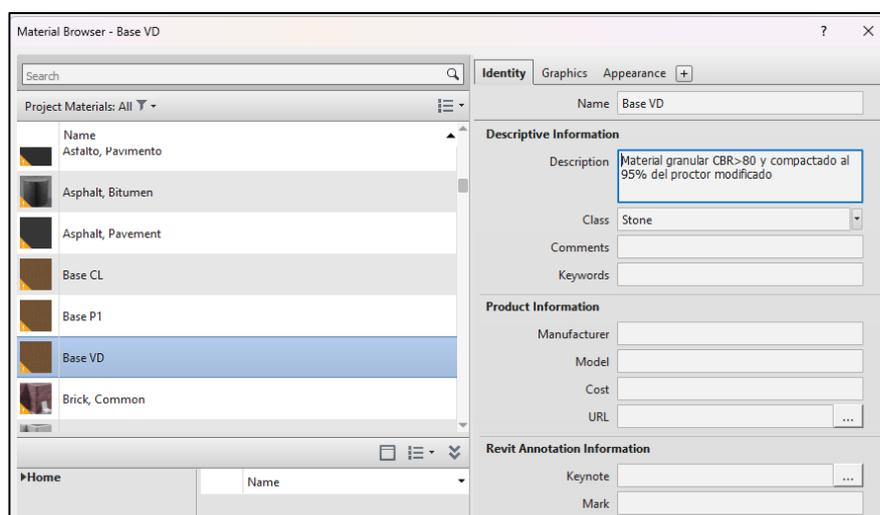


Figura 21. Información de un material específico que conforma los vados

Se utilizó un nivel de desarrollo de LOD-400 para modelar los vados, lo que significa que se incluyó información detallada sobre su geometría, espesor, elevación, pendientes, cantidad, ubicación y especificaciones. Sin embargo, no se modeló el acero estructural de estos elementos, lo que hace imposible atribuirles un nivel de desarrollo de LOD-500. Según las recomendaciones de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) para modelos de infraestructura vial, las identidades de los vados cumplen con los requisitos de un modelo as-built, pero no con los de un modelo para la operación y mantenimiento.

5.3.4 Nomenclatura propuesta

Para identificar a los vados de los demás elementos que forman el modelo, se utilizó una nomenclatura basada en el UniFormat y su respectivo material. Dicha nomenclatura se puede observar en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Nomenclatura implementada para los vados

Nomenclatura: Vados	
Familia: Floor (predeterminada de Revit)	
Tipo: VD_UNIF_Material	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Roadways	G2010
Roadway Curbs and Gutters	G2010.20
Material	
Concreto	CONC

CAPITULO VI. Modelado de la infraestructura peatonal, muros y gradas

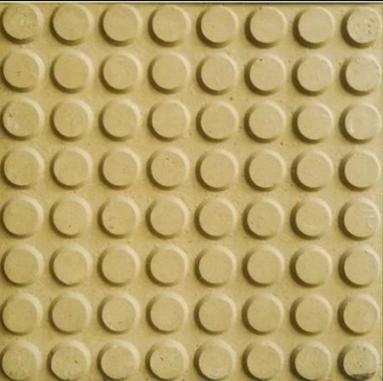
6.1 Pisos y aceras

6.1.1 Materiales implementados

Se emplearon cinco tipos distintos de materiales y acabados para la elaboración de los pisos y aceras, los cuales representan cada uno de los acabados presentes en la situación actual de la Facultad de Ingeniería. En el Cuadro 14 se presentan de manera gráfica los diferentes materiales y acabados correspondientes referentes a los tipos de piso.

Cuadro 14. Acabados de los pisos y aceras presentes en la Facultad de Ingeniería

Identificador	Material y acabado	Visualización
P1	Adoquín de concreto	
P2	Concreto lavado	
P3	Concreto escobillado	

Identificador	Material y acabado	Visualización
P4	Loseta táctil guía	
P5	Loseta táctil cambio de dirección	

6.1.2 Nivel de Desarrollo implementado

Los pisos y aceras fueron modelados utilizando un nivel de desarrollo suficiente como para generar una representación gráfica confiable de cómo se observan construidos en el complejo de edificios. Se utilizaron fotografías tomadas de la Facultad de Ingeniería para representar con fidelidad los diferentes materiales y acabados de los pisos y aceras. Esto se puede observar dentro del modelo en la pestaña "Appearance", presente en todos los materiales del programa. Lo mencionado anteriormente se representa en la Figura 22, donde se toma como ejemplo el concreto lavado del piso P2.

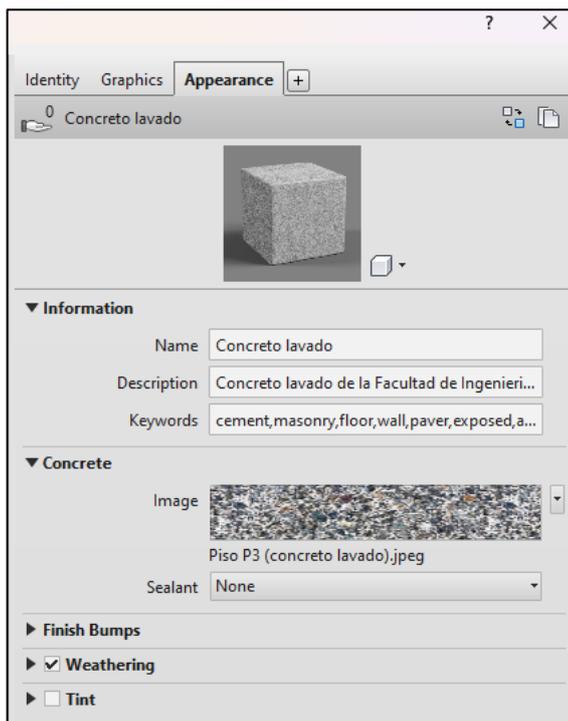


Figura 22. Apariencia del material concreto lavado

Por otro lado, cada uno de los pisos y aceras dentro del modelo cuentan con las capas y sus respectivos espesores especificados en los planos "as built", tal y como se observa en la Figura 23, la cual es la representación gráfica de la sección transversal del piso P1.

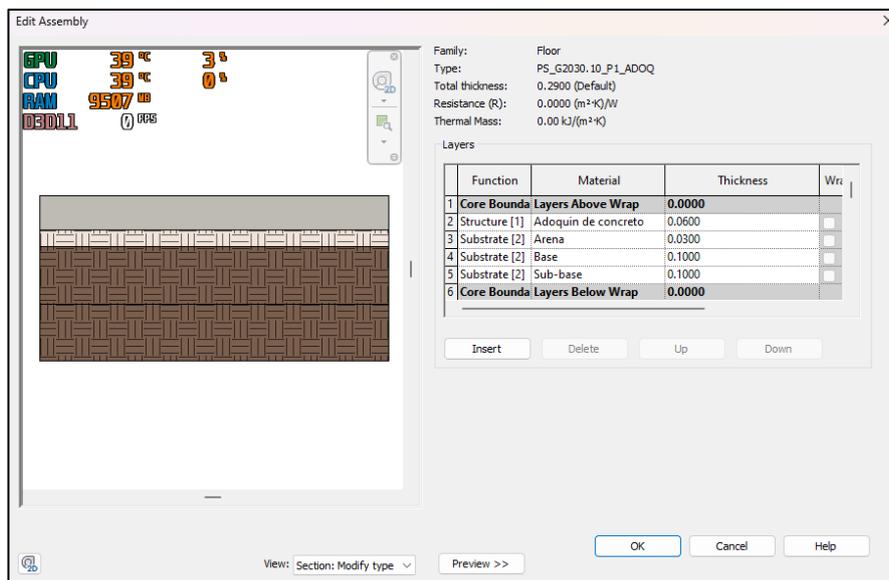


Figura 23. Capas, materiales y espesores del piso P1

A los materiales que conforman los pisos y aceras se les dotó de información relevante para su mantenimiento, ya que, en caso de existir la información en los planos "as built", poseen características como marca, modelo, un enlace que direcciona a una

carpeta con su ficha técnica, entre otras. Esta información se incluyó dentro del modelo, mediante la pestaña de "Identidad", presente en todos los materiales del programa. Lo mencionado anteriormente se representa en la Figura 24, tomando como ejemplo el material "Adoquín de concreto".

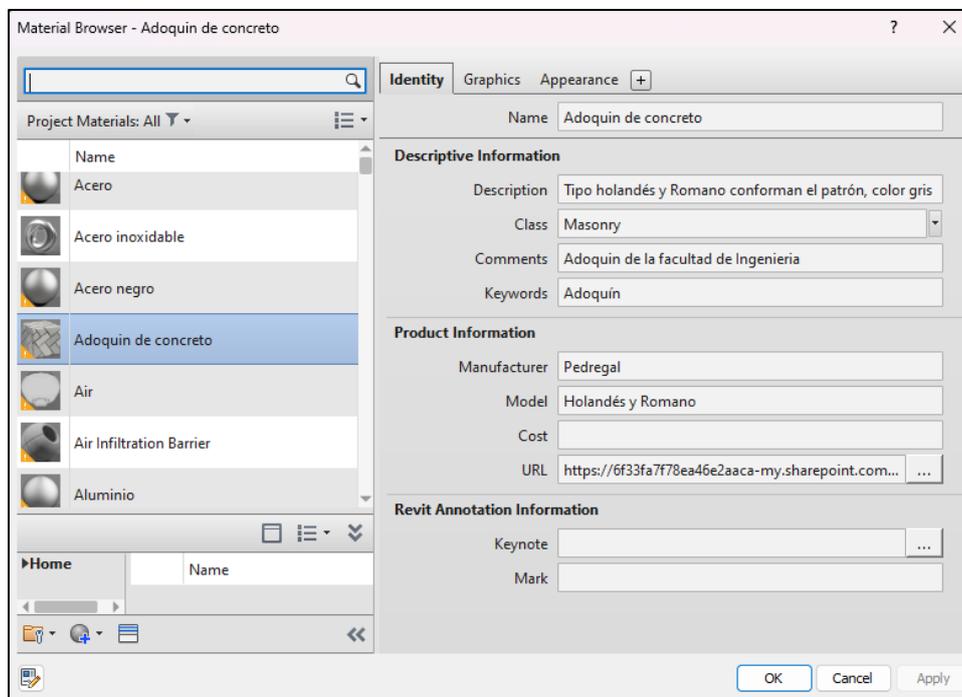


Figura 24. Información del material adoquín de concreto

Por otro lado, en caso de existir información adicional de importancia como acabados, indicaciones constructivas o, en general, cualquier indicación en los planos "as built" que no fuera posible integrar al modelo o en el respectivo material, se incluyó en los parámetros de cada tipo de piso, específicamente en la pestaña de "Type comments". Esto se refleja en la Figura 25 tomando como ejemplo el piso P4.

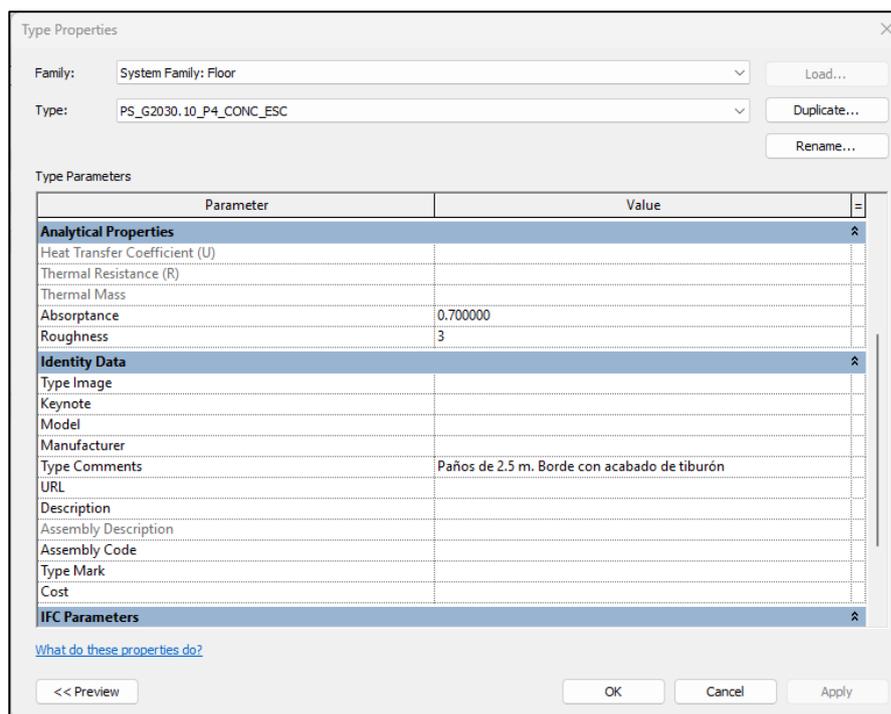


Figura 25. Información adicional del piso P4

Se utilizó la información disponible en los planos proporcionados para crear un modelo "as-built" que reflejara con precisión la estructura construida. En cuanto al Nivel de Desarrollo, se utilizó un LOD-400 asegurando que los patrones de los pisos fueran acordes a la situación actual de la Facultad de Ingeniería. Al considerar los pisos como losas, este LOD-400 es el nivel recomendado por la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) para modelar entidades que formarán parte de un modelo utilizado para la operación y el mantenimiento.

A continuación, se adjunta una fotografía donde se aprecian todos los pisos del modelo.

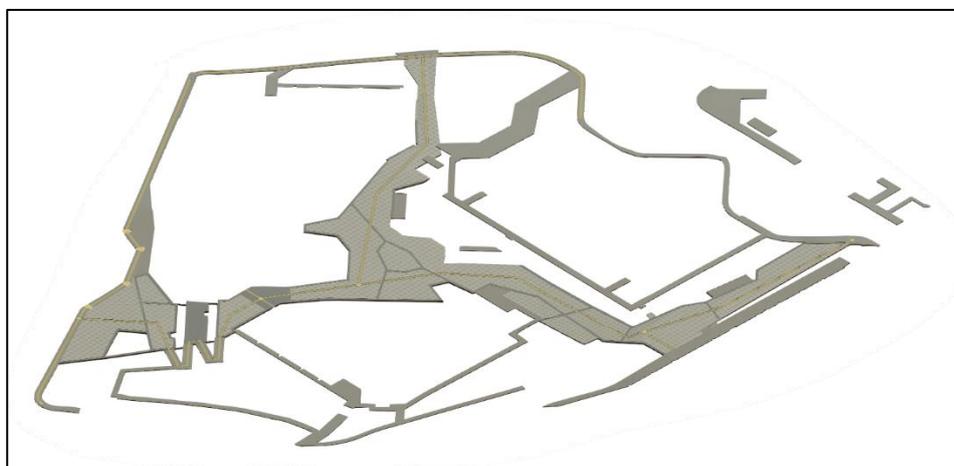


Figura 26. Pisos de la Facultad de Ingeniería

6.1.3 Nomenclatura propuesta

Para identificar los pisos, se utilizó una nomenclatura que pudiese caracterizar dicho piso según el UniFormat, su identificador utilizado en los planos constructivos, material y acabado, por lo que se implementó la siguiente estructura.

Cuadro 15. Nomenclatura implementada para el nombramiento de los pisos

Nomenclatura: Pisos	
Familia: Floor (predeterminada de Revit)	
Tipo: PS_UNIF_Identificador_Material_Acabado	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Pedestrian Plazas and Walkways	G2030
Pedestrian Pavement	G2030.10
Pedestrian Pavement appurtenances	G2030.40
Material o elemento	
Concreto	CONC
Adoquín	ADOQ
Loseta táctil	LOSA
Acabado	
Lavado	LAV
Escobillado	ESC

La implementación de la nomenclatura anterior se observa en la siguiente figura, donde se muestran todos los pisos generados en el modelo.

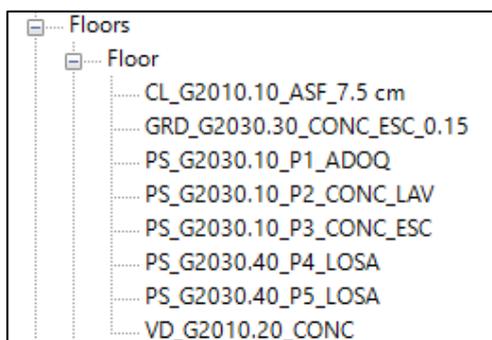


Figura 27. Aplicación de la nomenclatura de pisos y aceras

6.2 Muros

En la siguiente figura se expone gráficamente, mediante una fotografía tomada del sitio, un ejemplo de los elementos modelados:

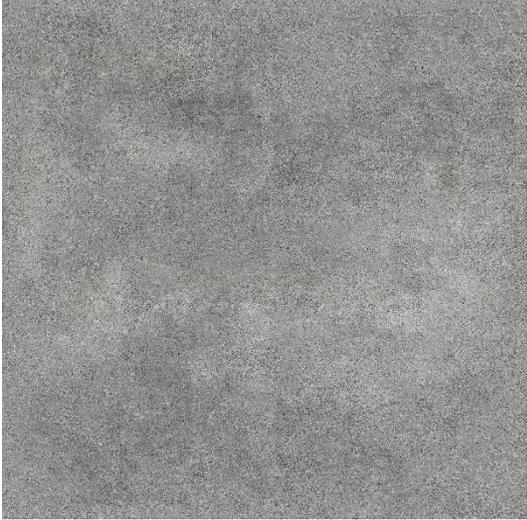


Figura 28. Muro de cercano al edificio administrativo

6.2.1 Materiales implementados

Para la elaboración de los muros se emplearon dos tipos distintos de materiales, los cuales representan los acabados presentes tanto en los planos "as built" como en la situación actual de la Facultad de Ingeniería. Los materiales y su representación gráfica dentro del modelo se encuentran en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Materiales presentes en los muros de la Facultad de Ingeniería

Material	Visualización
Gavión	
Concreto liso	

6.2.2 Nivel de Desarrollo implementado

Los muros presentes en el modelo han sido meticulosamente modelados, incorporando una gran cantidad de datos relevantes como su función, acabado, espesor y altura, tal y como se indican en los planos "as built" y en la realidad existente. Estos son una representación precisa de cómo fueron construidos, ya que no solo se han respetado alturas, espesores y especificaciones indicadas en los planos, sino que también se han tomado en cuenta los desniveles, cortes o pendientes existentes en los muros de contención que rodean el complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería. Esto se puede observar tomando como ejemplo un muro cerca del edificio administrativo, el cual se muestra en la Figura 29.



Figura 29. Muro de contención cercano al edificio administrativo

Por otro lado, se proporcionó información relevante para el mantenimiento de los materiales que conforman los muros. Esta información, en caso de existir en los planos "as built", incluye especificaciones que no pueden ser representadas gráficamente, como clase del producto, un enlace que direcciona a una carpeta con su ficha técnica, entre otras. Esta información se incluyó dentro del modelo, mediante la pestaña de "Identidad", presente en todos los materiales del programa. Este proceso se ilustra en la Figura 30, utilizando como ejemplo el material "Gaviones".

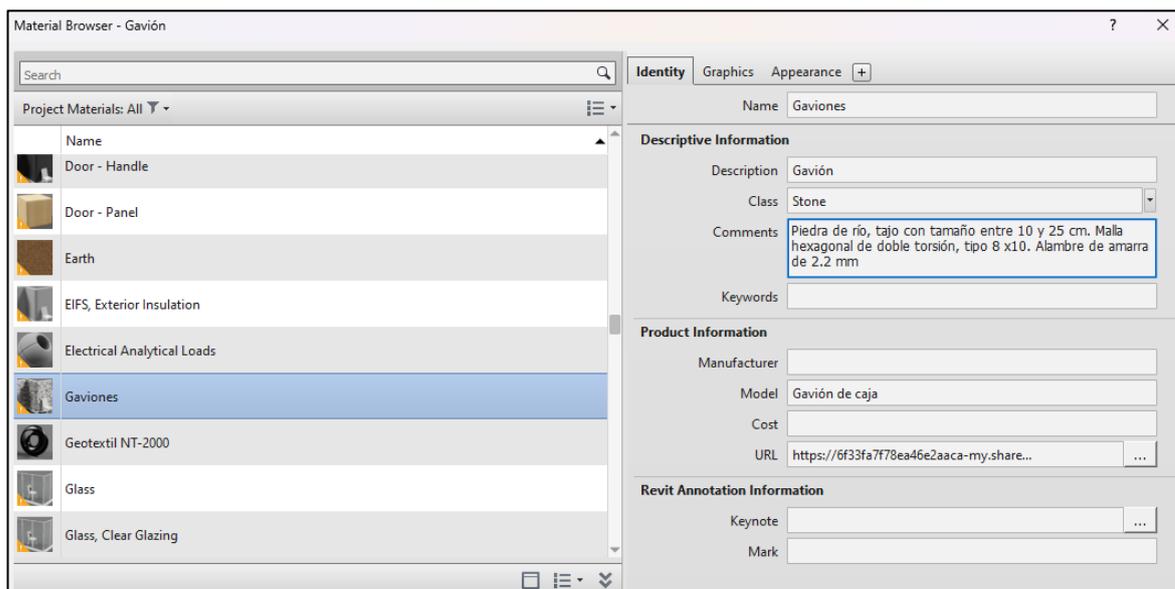


Figura 30. Información del material gaviones

Además, en caso de existir información adicional relevante como acabados, ensayos de laboratorio a cumplir, propiedades de los materiales, instrucciones constructivas o cualquier otra indicación que no pudo ser incluida dentro del modelo o en el material correspondiente, se han incorporado en los parámetros específicos de cada tipo de muro en la pestaña "Type comments". La Figura 31 ilustra este aspecto, utilizando un muro de gaviones como ejemplo.

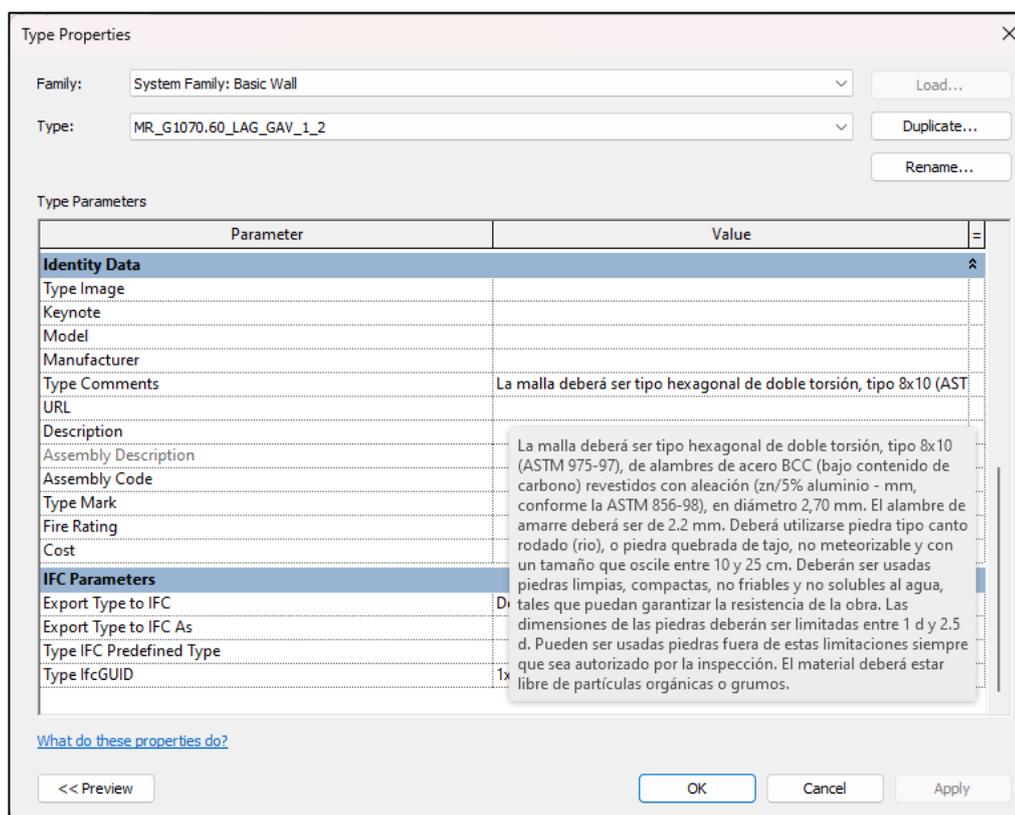


Figura 31. Información adicional de los muros de gaviones

Los muros se modelaron utilizando un nivel de desarrollo de LOD-350, ya que se desarrollaron basándose en la información expuesta en los planos as-built; sin embargo, no se modeló el acero estructural, ni detalles geométricos como biseles que presentan ciertos muros. Por otro lado, se añadieron datos no gráficos a las identidades, lo cual aumenta su nivel de información. Este nivel de desarrollo de LOD-350 cumple con las recomendaciones de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) para un modelo de muros utilizado para la operación y mantenimiento de los activos.

A continuación, se adjunta una fotografía donde se aprecian resaltados todos los muros que componen el modelo.



Figura 32. Muros de la Facultad de Ingeniería

6.2.3 Nomenclatura propuesta

Para identificar los muros entre ellos y de los demás elementos del modelo, se utilizó una nomenclatura que pudiese caracterizar cada muro según el UniFormat, su función, material, espesor y altura, por lo que se implementó la siguiente estructura.

Cuadro 17. Nomenclatura implementada para el nombramiento de los muros

Nomenclatura: Muros	
Familia: Basic wall (predeterminada de Revit)	
Tipo: MR_UNIF_Función_Material_Espesor_Altura	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Site Development	G2060
Retaining Walls	G2060.60
Gabions	G1070.60
Site screening devices	G2060.80

Nomenclatura: Muros	
Función	
Contención	CONT
Muro	MU
Laguna retención pluvial	LAG
Material	
Concreto	CONC
Gavión	GAV

Es importante resaltar la amplia variedad de funciones que desempeñan los muros en la facultad de ingeniería. Estos muros cumplen un rol fundamental como elementos estructurales para la contención del terreno, lo cual permite la construcción de infraestructuras peatonales o la creación de lagunas de retención con el objetivo de mitigar el impacto del agua de lluvia en el alcantarillado pluvial durante tormentas. Además, también existen muros que cumplen una función meramente divisoria entre espacios, sin tener ninguna implicación estructural.

La implementación de la nomenclatura anterior se presenta en la Figura 33, donde se muestran todos los muros generados en el modelo.

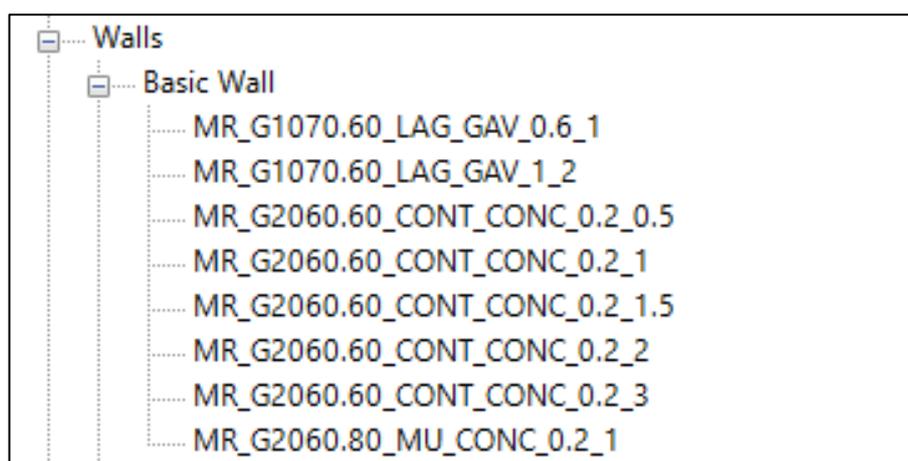


Figura 33. Aplicación de la nomenclatura de muros

6.3 Gradas

En la siguiente figura se expone gráficamente, mediante una fotografía tomada del sitio, un ejemplo de los elementos modelados:

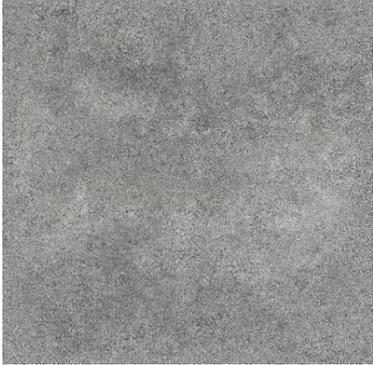


Figura 34. Gradas cercanas al edificio de aulas

6.3.1 *Materiales implementados*

Se utilizaron 3 tipos de acabados diferentes en la elaboración de las gradas, los cuales representan los acabados expuestos en los planos "as built" y la situación actual de la Facultad de Ingeniería. Los acabados se encuentran representados gráficamente en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Visualización de los materiales utilizados para las gradas

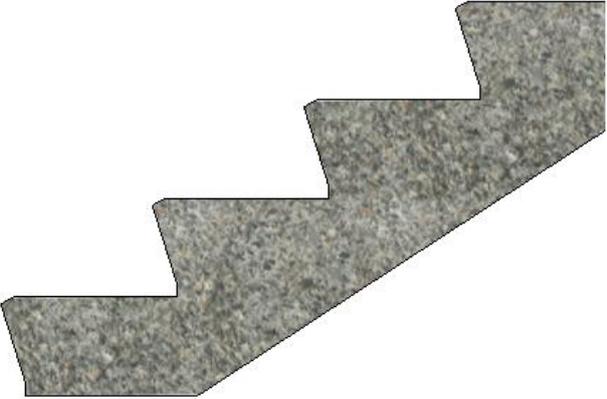
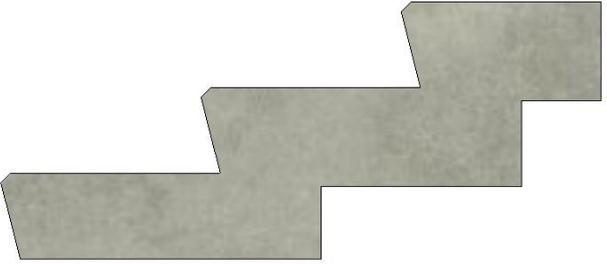
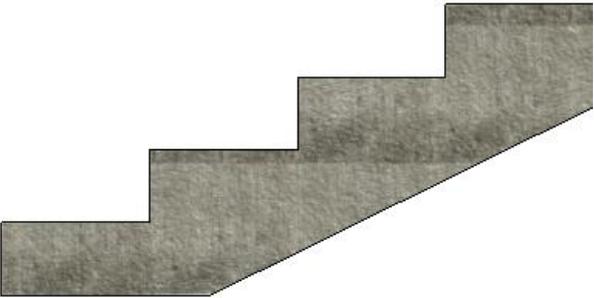
Material y acabado	Visualización
Concreto lavado	
Concreto escobillado	
Concreto liso	

Es importante mencionar que dos de ellos coinciden con materiales presentes en los pisos y aceras.

6.3.2 Nivel de desarrollo implementado

La representación gráfica de las gradas en el complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería se ha realizado con un nivel de desarrollo que garantiza una representación confiable de cómo fueron construidas. Cada elemento ha sido modelado con su respectiva sección transversal o perfil, y se han tomado en cuenta las medidas detalladas en los planos correspondientes. A continuación, en el Cuadro 19, tomando como ejemplo un tipo de grada por cada acabado existente, se visualizan diferentes perfiles desarrollados dentro del modelo.

Cuadro 19. Perfiles de las gradas de la Facultad de Ingeniería

Acabado	Visualización perfil
Concreto lavado	
Concreto liso	
Concreto escobillado	

Como se mencionó a inicios de la sección, dos de los materiales coinciden con los utilizados en el modelado de los pisos. Debido a lo anterior, la representación gráfica de las gradas se deriva de fotografías tomadas propiamente en la Facultad de Ingeniería y además, cuentan con la misma clase de información para facilitar su mantenimiento que se comentó en la sección de pisos. Ambos aspectos se representan en la Figura 22 y Figura 24, respectivamente.

Por otro lado, en la pestaña "Type comments" de los parámetros específicos de cada tipo de escalera se añadió información relevante como acabados adicionales, propiedades de los materiales, instrucciones constructivas o cualquier otra indicación que no pudo ser incluida en el modelo o en el material correspondiente. La Figura 35 ilustra este aspecto, utilizando las escaleras del anfiteatro como ejemplo.

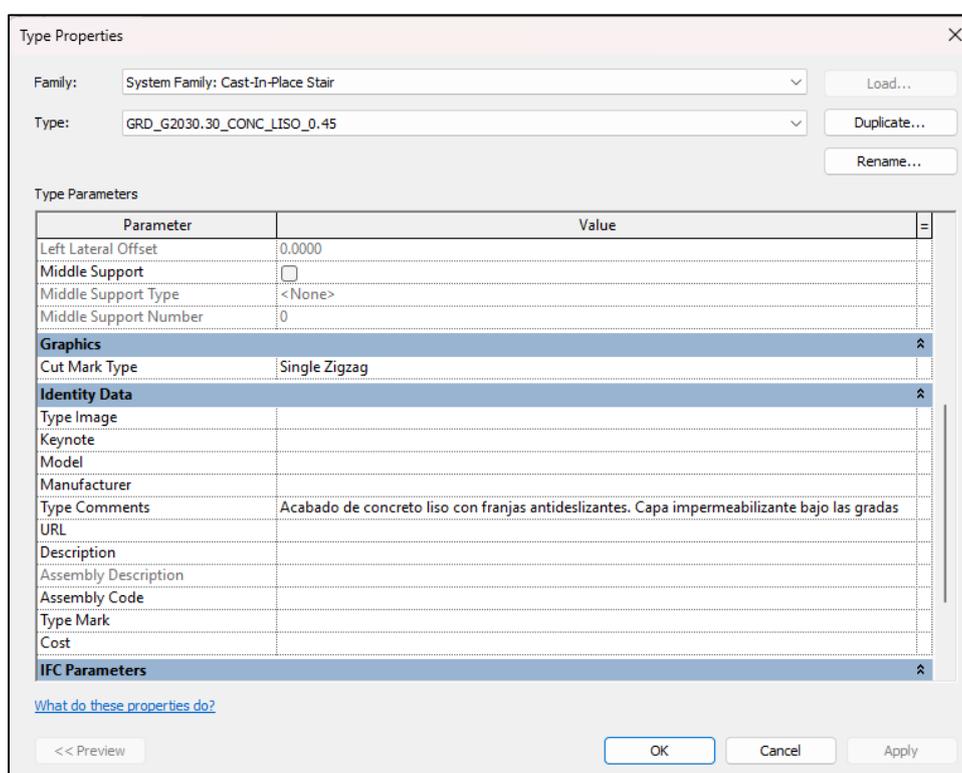


Figura 35. Información adicional de las gradas

Según los criterios de BIM Forum, las escaleras fueron modeladas con Nivel de Desarrollo de LOD 300, ya que no se modeló el acero de refuerzo. Sin embargo, adicional al refuerzo estructural, se incluye toda la información necesaria para la construcción y mantenimiento de las gradas, tanto gráfica, como no gráfica. La Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) recomienda un LOD 350 en un modelo para la operación y el mantenimiento para estas identidades, por lo que lo modelado no cumple con las sugerencias de la institución.

6.3.3 Nomenclatura propuesta

Con el objetivo de identificar las gradas entre ellas y de los demás elementos del modelo, se utilizó una nomenclatura que pudiese caracterizar cada escalera según el UniFormat, su material, acabado y medida de la contrahuella. Para esto, se implementó la siguiente estructura.

Cuadro 20. Nomenclatura implementada para el nombramiento de las gradas

Nomenclatura: Gradadas	
Familia: Cast in Place Stair (predeterminada de Revit)	
Tipo: GRD_UNIF_Material_Acabado_Contrahuella	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Pedestrian Plazas and Walkways	G2030
Exterior steps and ramps	G2030.30
Material o elemento	
Concreto	CONC
Acabado	
Escobillado	ESC
Liso	LISO
Lavado	LAV

La implementación de la nomenclatura anterior se presenta en la Figura 36, donde se muestran en el "Project Browser" todas las gradas generadas en el modelo.

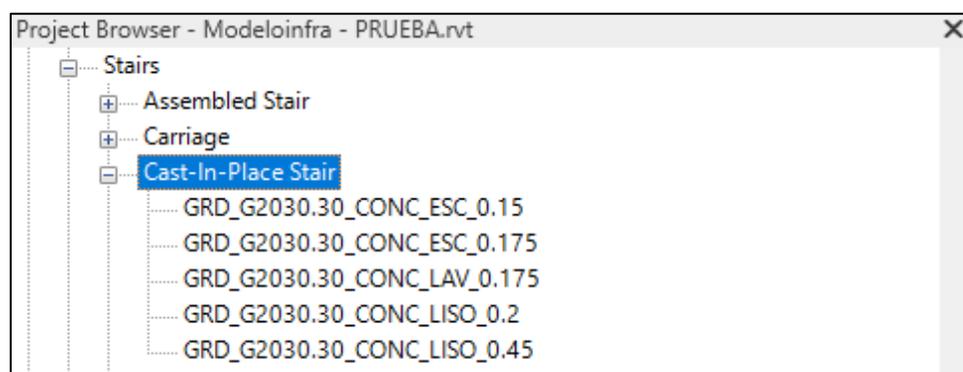


Figura 36. Aplicación de la nomenclatura de gradadas

CAPITULO VII. Modelado de la infraestructura complementaria

7.1 Barandas y pasamanos

En el siguiente cuadro se exponen gráficamente, mediante fotografías tomadas del sitio, los elementos modelados:

Cuadro 21. Barandas y pasamanos modelados

Elemento (UniFormat)	Fotografía
<p>Barandas ingreso a los edificios de aulas y administrativo (RAI_B2080.50_BAR_STE_FI)</p>	
<p>Pasamanos ingreso a los edificios de aulas y administrativo (RAI_B2080.50_PAS_STE_FI)</p>	

Elemento (UniFormat)	Fotografía
Barandas Ingeniería Eléctrica (RAI_B2080.50_PAS_STE_IE)	

7.1.1 Nivel de desarrollo implementado

Debido a que existen diversos elementos que conforman las barandas, entre ellos los pasamanos, balaustres, barrotes y los soportes, se implementaron distintos niveles de desarrollo para cada uno de ellos. Sin embargo, todos los elementos fueron modelados conforme a los planos "as built" de la Facultad de Ingeniería y contienen suficiente información gráfica como para generar una representación fiel de lo que se encuentra construido.

Cada uno de los elementos cuenta con información detallada sobre su material y acabado, diámetros de los tubos, geometría, dimensiones, espesores de placas y otros aspectos relevantes. En la Figura 37 se observa el detalle implementado en un elemento que conforma las barandas, tomando como ejemplo los balaustres de la rampa de acceso a los edificios administrativos y aulas:

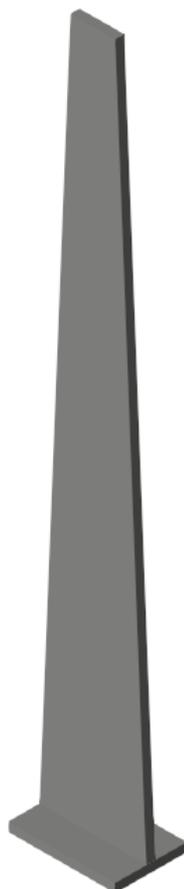


Figura 37. Balaustre de la rampa de acceso a los edificios administrativos y de aulas

Adicionalmente, debido a que las barandas corresponden a una familia sistemática o compuesta, y con los objetivos de facilitar el mantenimiento y la unificación de la información en un solo sitio, se optó por colocar un resumen escrito con las especificaciones principales de cada uno de los elementos que conforman las barandas y pasamanos según la información expuesta en los planos "as built". Para esto, se utilizó la pestaña "Type comments" de los parámetros específicos de cada tipo de baranda.

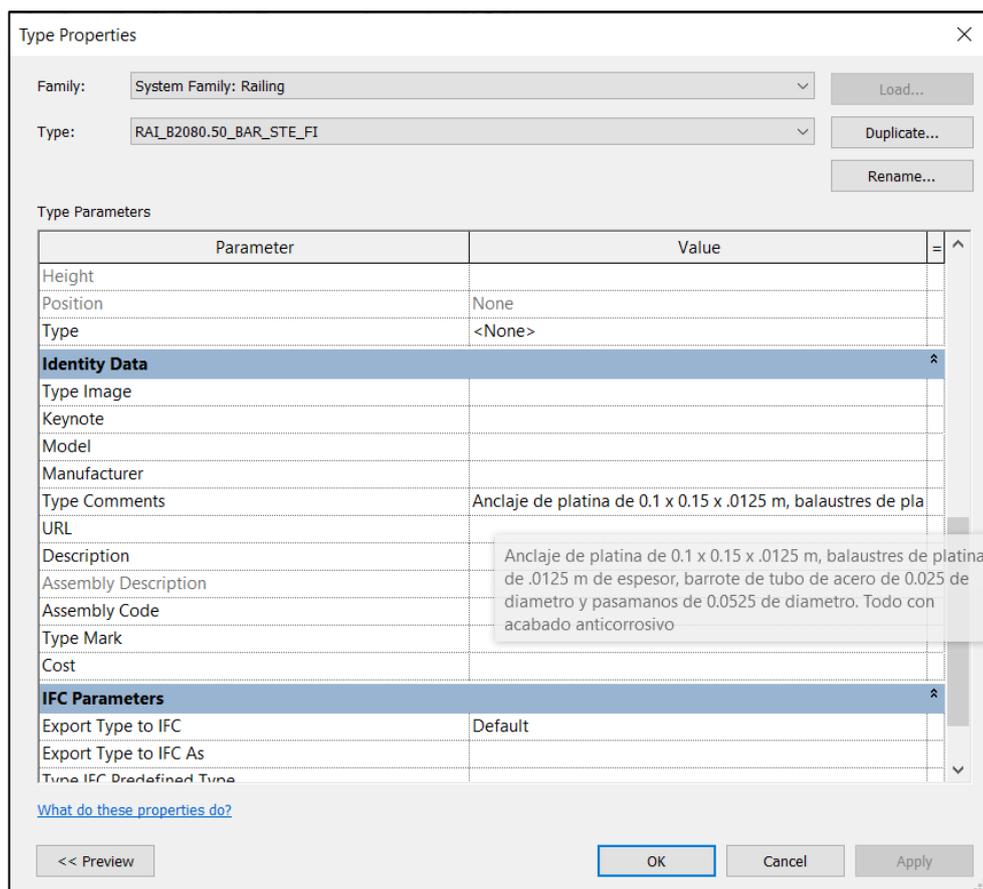


Figura 38. Información adicional en las barandas

Las barandas y pasamanos del modelo fueron desarrolladas con un nivel de desarrollo de LOD-350, ya que se modelaron los distintos componentes que las conforman, tomando en cuenta las propiedades e información que presenta cada uno en los planos as-built. Además, se encuentran dotadas de datos no gráficos, lo cual aumenta el nivel de información de las instancias. Si se considera que estos elementos forman parte de las identidades de gradas y rampas, la recomendación de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) es de un LOD-350 para un modelo para operación y mantenimiento. De esta manera, se puede concluir que las barandas y pasamanos cumplen con las expectativas de la CCC.

7.1.2 Ubicaciones

Dentro del alcance del presente modelo, la Facultad de Ingeniería presenta barandas y pasamanos sobre gradas, rampas y pisos en dos ubicaciones específicas. Debido a esto y a la similitud que presentan los elementos que componen las barandas de un sector a otro, la ubicación de las mismas es una característica que se utilizó para la diferenciación entre cada tipo de baranda. Las dos ubicaciones específicas se denominaron Facultad de

Ingeniería e Ingeniería Eléctrica, las cuales se representan gráficamente en la siguiente figura.

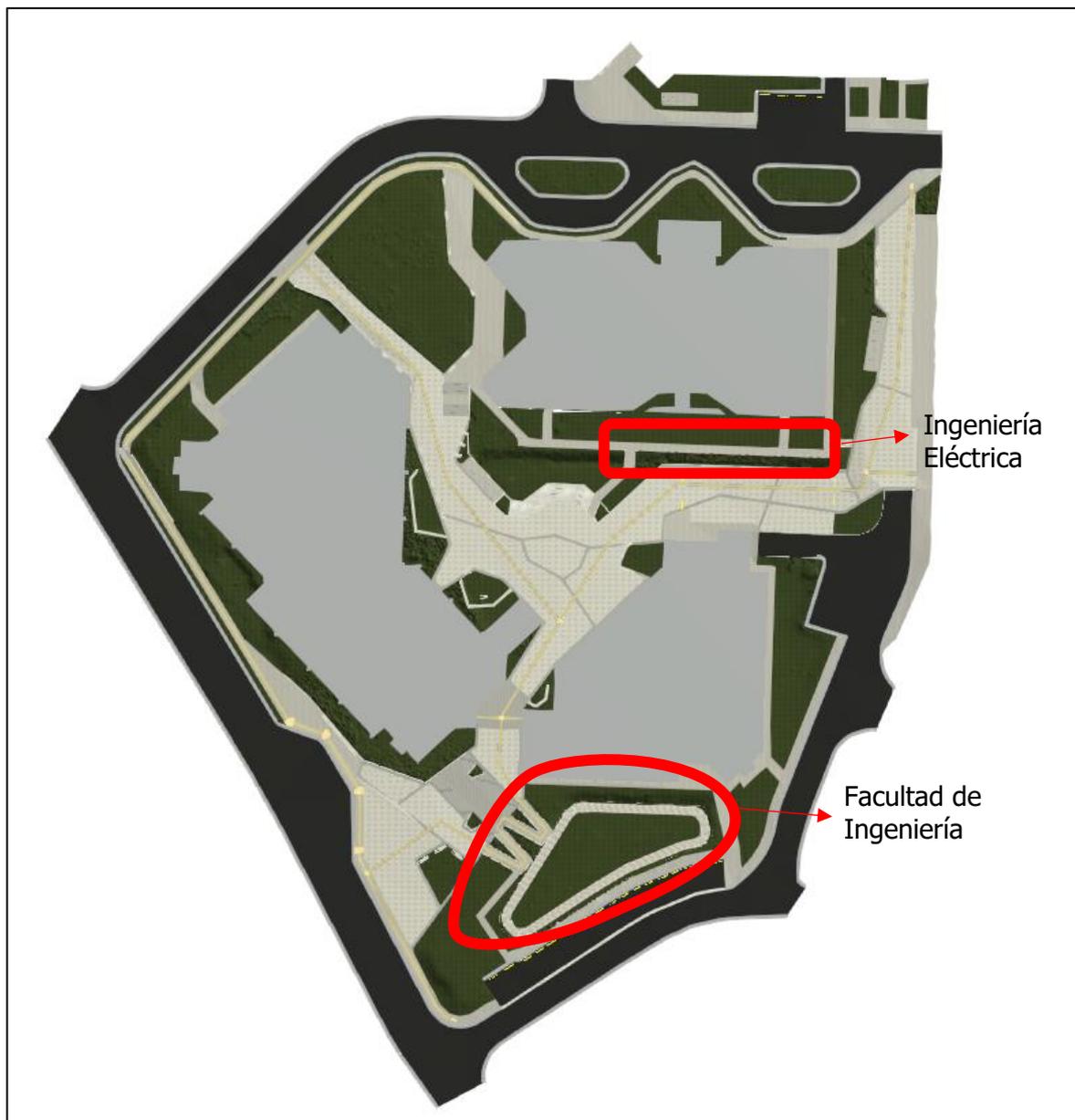


Figura 39. Ubicación de las barandas dentro del modelo

7.1.3 Nomenclatura propuesta

Con el objetivo de identificar las barandas y los pasamanos entre ellos mismos y de los demás elementos del modelo, se utilizó una nomenclatura que pudiese caracterizar cada baranda según el UniFormat, su material y ubicación. Para esto, se implementó la siguiente estructura expuesta en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Nomenclatura propuesta para el nombramiento de las barandas y pasamanos

Nomenclatura: Barandas y Pasamanos	
Familia: Railing (predeterminada de Revit)	
Tipo: RAI_UNIF_Usos_Material_Ubicación	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Exterior railings	B2080.50
Uso	
Barandas	BAR
Pasamanos	PAS
Material	
Acero	STE
Ubicación	
Ingeniería Eléctrica	IE
Facultad de Ingeniería	FI

La nomenclatura del Cuadro 22 se ve aplicada en el Project Browser del modelo en la siguiente figura.

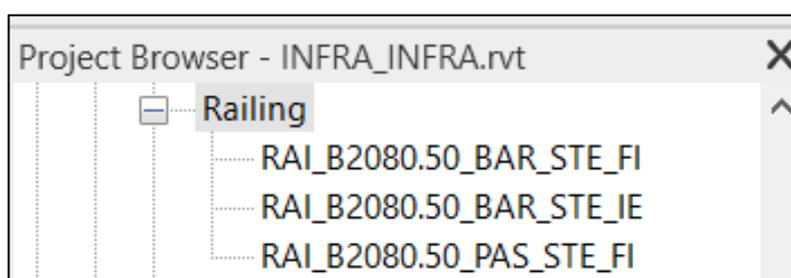


Figura 40. Aplicación de la nomenclatura de barandas

7.2 Cerramientos especiales

En el siguiente cuadro se exponen gráficamente, mediante una fotografía tomada del sitio, los elementos modelados:

Cuadro 23. Cerramientos especiales modelados

Elemento (UniFormat)	Fotografía
<p>Cerramiento laguna de retardo pluvial (CERR_G2060.20_MALLA_FI)</p>	

7.2.1 Nivel de desarrollo implementado

En este caso, los cerramientos especiales se componen de soportes verticales y horizontales, el cerramiento, soportes y accesorios. Debido a esto, se presentan distintos niveles de desarrollo para cada uno de estos elementos. Sin embargo, cada uno de ellos tiene información detallada sobre su material, acabado, tipo de sección de los soportes, dimensiones, separación de paños, entre otros; todo esto basado en los planos "as built" de la Facultad de Ingeniería.

Al seguir cada una de las especificaciones interpuestas en los planos, se asegura una representación gráfica fiable de las condiciones existentes en la Facultad de Ingeniería. En la Figura 41 se puede ver un ejemplo de esta atención al detalle en la malla electrosoldada que, en esta ocasión, actúa como cerramiento. Por otro lado, en la Figura 42 se muestra la información adicional que se encuentra dentro del modelo de estas entidades.

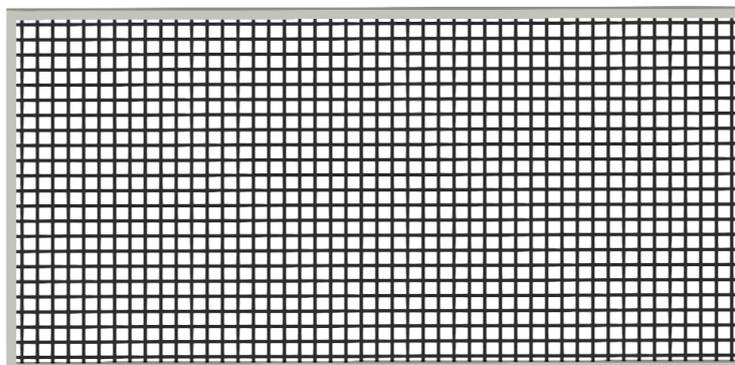


Figura 41. Malla electrosoldada de los cerramientos especiales

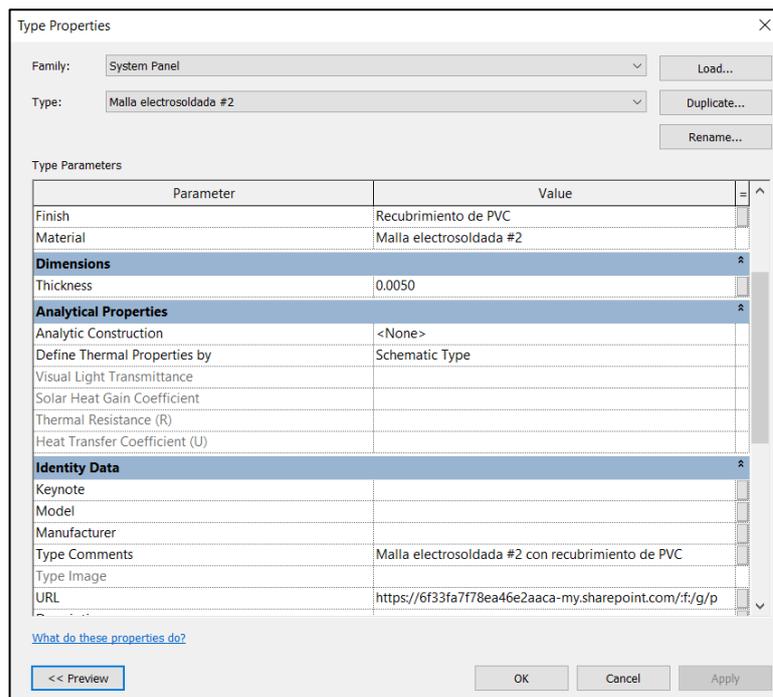


Figura 42. Información adicional de la malla electrosoldada

Además, dado que los cerramientos especiales fueron modelados mediante una familia sistemática o compuesta, se decidió incluir un resumen escrito de las especificaciones principales de cada elemento en la pestaña "Type comments" de los parámetros específicos del tipo de cerramiento. Esto ayudará a facilitar el proceso de mantenimiento y permitirá unificar la información en un solo lugar. Lo anterior se observa en la siguiente figura.

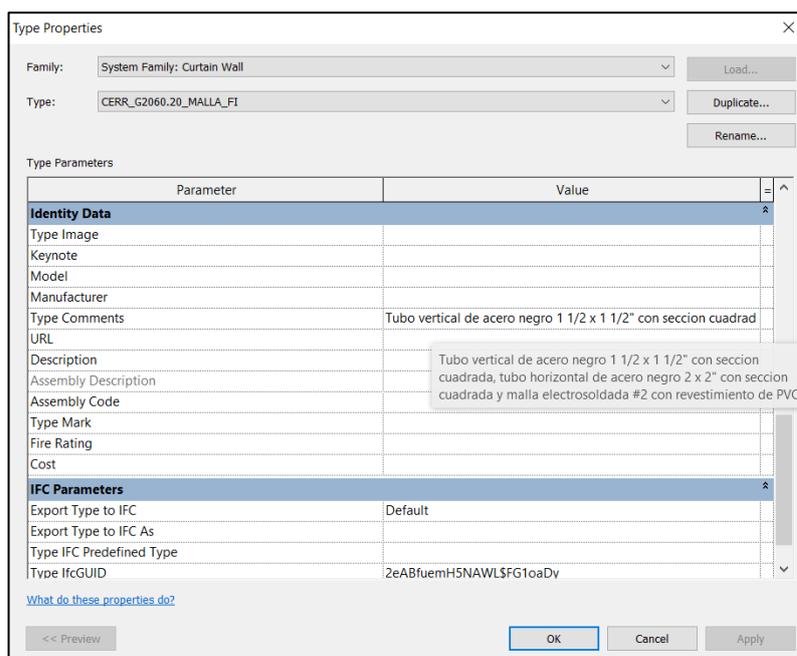


Figura 43. Información adicional de los cerramientos especiales

Los cerramientos especiales del modelo tienen un alto nivel de desarrollo de LOD-400, lo que significa que se modelaron cada uno de sus componentes teniendo en cuenta las propiedades e información presentes en los planos as-built, permitiendo, en caso ser necesario, construirlos. Además, se incorporaron datos no gráficos para aumentar el nivel de información de las instancias. Si se consideran estos elementos como estructuras especiales, la recomendación de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) es un LOD-400 para un modelo de operación y mantenimiento. Por lo tanto, se puede concluir que los cerramientos especiales cumplen con las expectativas de la CCC.

7.2.2 Ubicaciones

A pesar de que solo existe un cerramiento especial en el alcance del modelo, se conoce de la existencia de otros con componentes y características muy similares o hasta idénticas en ubicaciones cercanas. Debido a esto, se optó por implementar la ubicación propuesta en la Figura 39 como característica para diferenciar el cerramiento modelado de los que se podrían llegar a desarrollar en un futuro.

7.2.3 Nomenclatura propuesta

Con el objetivo de identificar los cerramientos especiales de los demás elementos del modelo, se utilizó una nomenclatura que pudiese caracterizarlas según el UniFormat, su material y ubicación. Para esto, se implementó la siguiente estructura expuesta en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Nomenclatura propuesta para el nombramiento de los cerramientos especiales

Nomenclatura: Cerramientos especiales	
Familia: Curtain wall (predeterminada de Revit)	
Tipo: CERR_UNIF_Material_Ubicación	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Site development	G2060
Fences and gates	G2060.20
Material	
Malla electrosoldada #2	MALLA
Ubicación	
Facultad de Ingeniería	FI

7.3 Bancas

En el siguiente cuadro se exponen gráficamente, mediante fotografías tomadas del sitio, los elementos modelados:

Cuadro 25. Bancas modeladas

Elemento (UniFormat)	Fotografía
<p>Banca tipo 1 (BAN_G2060.25_1_CONC_LISO)</p>	
<p>Banca tipo 2 (BAN_G2060.25_2_CONC_LISO)</p>	
<p>Banca tipo 3 (BAN_G2060.25_3_CONC_LISO)</p>	

7.3.1 Método utilizado

Se optó por modelar las bancas de dos maneras distintas según las propiedades de cada una, utilizando familias de vigas y modelos genéricos. Las bancas con identificador tipo 3 se modelaron utilizando una nueva familia de vigas. Al igual que los bordillos y cordones de caño, estas se pudieron haber resuelto utilizando la herramienta de "modelado en sitio" del programa Revit, sin embargo, esta no presenta las propiedades cuantificables deseadas en el modelo.

Por otro lado, las bancas con identificadores tipo 1 y 2 fueron resueltas utilizando modelos genéricos de Revit. Lo anterior, con base en los planos "as built" del paisajismo de la Facultad de Ingeniería. Los modelos genéricos presentan características y propiedades diferentes a las de las familias de vigas, pero igualmente cumplen con el objetivo de poder cuantificar en un futuro los materiales utilizados en la construcción de la infraestructura del complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería.

7.3.2 Nivel de desarrollo implementado

La representación gráfica de las bancas en el complejo de edificios de la Facultad de Ingeniería se ha elaborado con un alto nivel de desarrollo que asegura una representación precisa de su construcción. Cada elemento ha sido modelado con su sección transversal o perfil, tomando en cuenta las medidas precisas proporcionadas en los planos correspondientes. A continuación, se puede observar, en la Figura 44, el perfil de la banca tipo 3 como ejemplo.

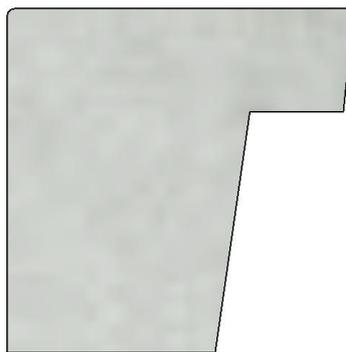


Figura 44. Perfil de la banca tipo 3

Además, no solo se han respetado las medidas y perfiles indicados en los planos, sino que también se han tomado en cuenta los cortes y biseles existentes en las bancas generadas mediante modelos genéricos, como se observa en la Figura 45.

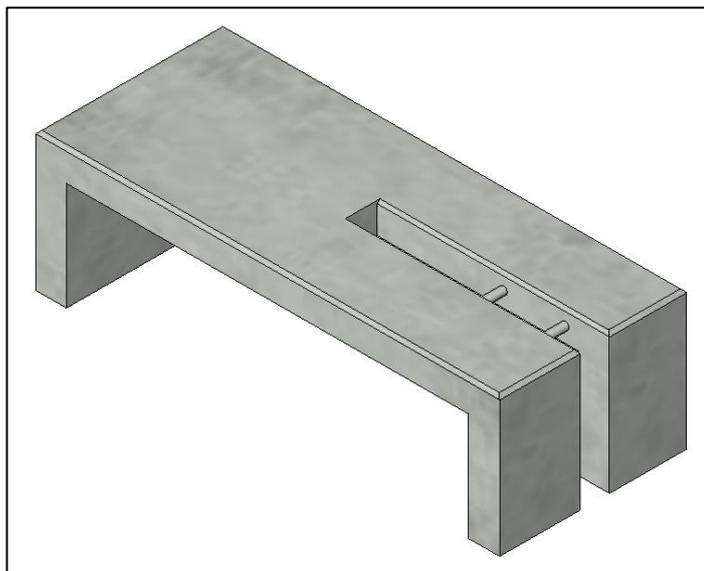


Figura 45. Modelo genérico de la Banca tipo 1

Adicionalmente, la sección de "Type comments" dentro de los parámetros específicos de cada tipo de banca, se agregó información adicional relevante, en caso de existirla. Dentro de la información se encuentran acabados adicionales, instrucciones constructivas o cualquier otra indicación que no pudo ser incorporada en el modelo de manera gráfica. La Figura 46 ejemplifica este aspecto, tomando como referencia las bancas tipo 3.

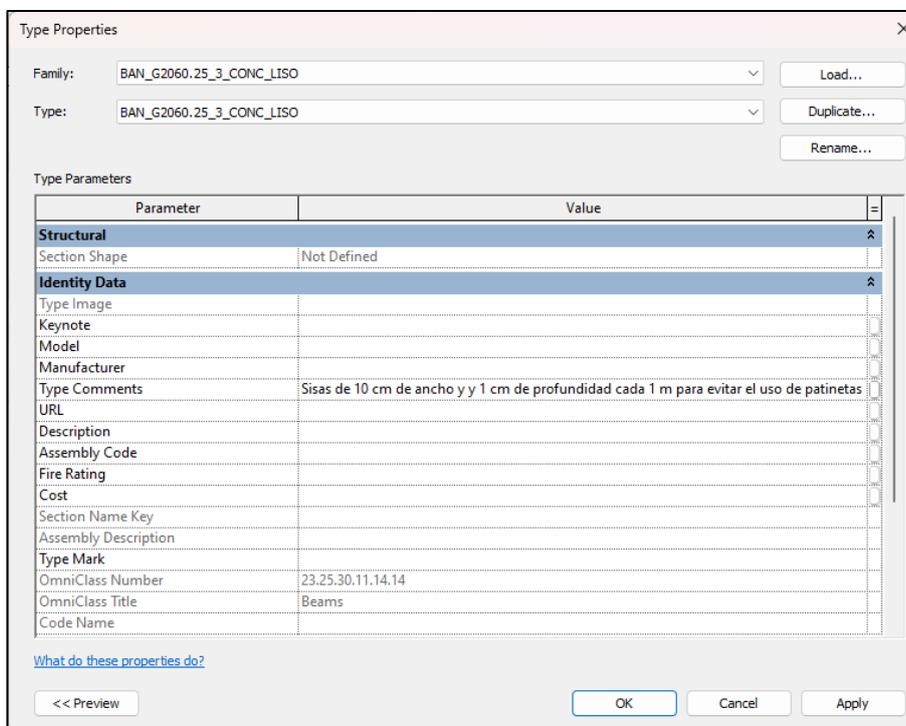


Figura 46. Información adicional de las bancas tipo 3

Es importante mencionar que todas las bancas modeladas se encuentran ubicadas en el lugar exacto en el que se encuentran en la realidad. Lo anterior fue verificado

utilizando la nube de puntos mencionada en secciones anteriores y visitas al sitio en diferentes ocasiones, las cuales han permitido verificar aspectos como la orientación y separación de cada una de las bancas. Esto ha permitido corregir los errores de ubicación presentes en los planos "as built" y de esta manera, se garantiza que los datos obtenidos a partir del modelo sean fiables y útiles para la toma de decisiones.

Para modelar las bancas se utilizó un nivel de desarrollo de LOD-400, ya que a pesar de que se modelaron respetando la geometría, espesores, elevaciones, cantidad, ubicación, orientación y especificaciones, no se modeló el acero de refuerzo que presentan estos elementos, lo cual imposibilita adjudicarles un LOD-500. Considerando las bancas como mobiliario, la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) recomienda un Nivel de Desarrollo de LOD-400 para un modelo de operación y mantenimiento, por lo que las bancas cumplen con las expectativas estipuladas.

7.3.3 Nomenclatura

Se implementó una estructura para identificar las diferentes bancas y distinguirlas de otros elementos del modelo. El propósito era usar una nomenclatura que describiera el UniFormat, el identificador utilizado en los planos, el material y acabado de cada banca.

Cuadro 26. Nomenclatura implementada para el nombramiento de las bancas

Nomenclatura:	
Familia o tipo según el método: BAN_UNIF_Indentificador_Material_Acabado	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Site Development	G2060
Site Furnishings	G2060.25
Identificador	
Tipo 1	1
Tipo 2	2
Tipo 3	3
Material	
Concreto	CONC
Acabado	
Liso	LISO

7.4 Zonas de estacionamiento

En el siguiente cuadro se exponen gráficamente, mediante fotografías tomadas del sitio, los elementos modelados:

Cuadro 27. Elementos modelados de las zonas de estacionamientos

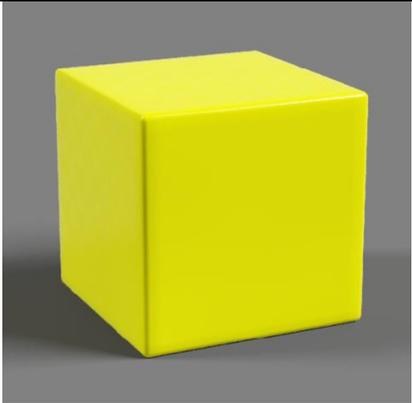
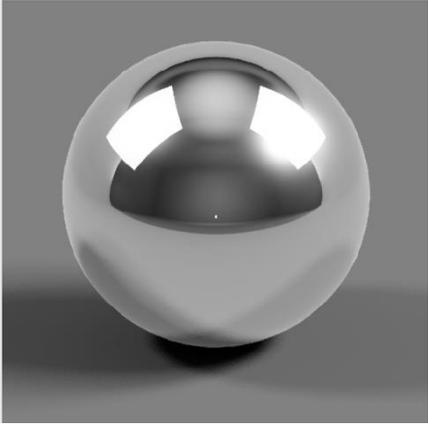
Elemento (UniFormat)	Fotografía
<p data-bbox="260 824 708 913">Tope de parqueo (PAR_G2020.20_TOPE_CONC_PT)</p>	
<p data-bbox="260 1559 708 1648">Parqueo para bicicletas (PAR_G2060.25_BICI_STE_INOX)</p>	

En el caso de la Facultad de Ingeniería, las zonas de estacionamiento se componen de pisos, aceras, bordillos, pavimentos, cordones y caños, muros, zonas verdes e infraestructura complementaria como topes de parqueo y barras para el anclaje de bicicletas. Es importante mencionar que en esta sección se detallará únicamente la infraestructura complementaria, ya que los demás elementos mencionados se describieron previamente en sus secciones respectivas.

7.4.1 Materiales implementados

Se utilizaron 2 tipos de materiales y acabados diferentes para crear los elementos que conforman las zonas de estacionamientos. En el Cuadro 28 se representan gráficamente cada uno de los materiales y acabados basados en los planos "as built" y la situación actual de la Facultad de Ingeniería.

Cuadro 28. Materiales presentes en los elementos de las zonas de estacionamiento

Material y acabado	Visualización
Pintura de tránsito	
Acero inoxidable	

7.4.2 Nivel de desarrollo implementado

Cada uno de los elementos fue desarrollado utilizando modelos genéricos de Revit con base en los planos "as built" de la Facultad de Ingeniería y contienen suficiente información gráfica como para generar una representación fiel de cada componente. Estos contienen datos como materiales, acabado, diámetros de los tubos y dimensiones. Además, no solo se han respetado las medidas indicadas en los planos, sino que también se han tenido en cuenta los cortes, perforaciones existentes en los elementos, como se observa en la Figura 47.

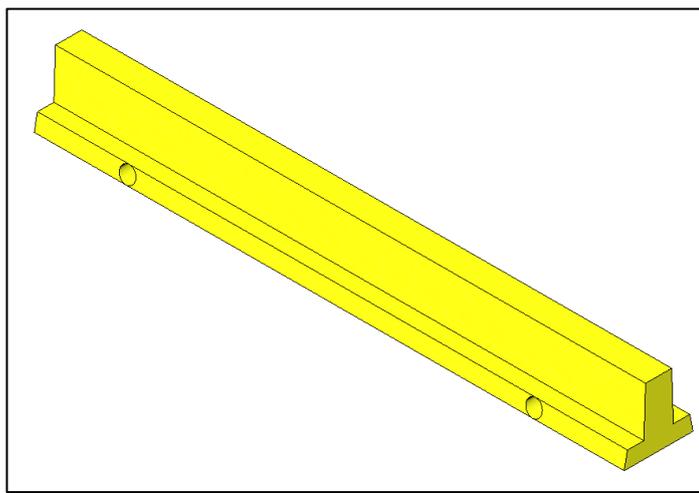


Figura 47. Modelo genérico de Tope de parqueo

Por otro lado, a los materiales de los elementos de las zonas de estacionamiento se les dotó de información relevante para su mantenimiento, ya que, en caso de mencionarse en los planos "as built", poseen características como marca, normativa a cumplir, procesos constructivos, un enlace que direcciona a una carpeta con su ficha técnica, entre otras. Esta información se incluyó en la pestaña "Identidad", presente en todos los materiales del programa. Lo mencionado anteriormente se representa en la Figura 48, tomando como ejemplo el material "pintura para carreteras".

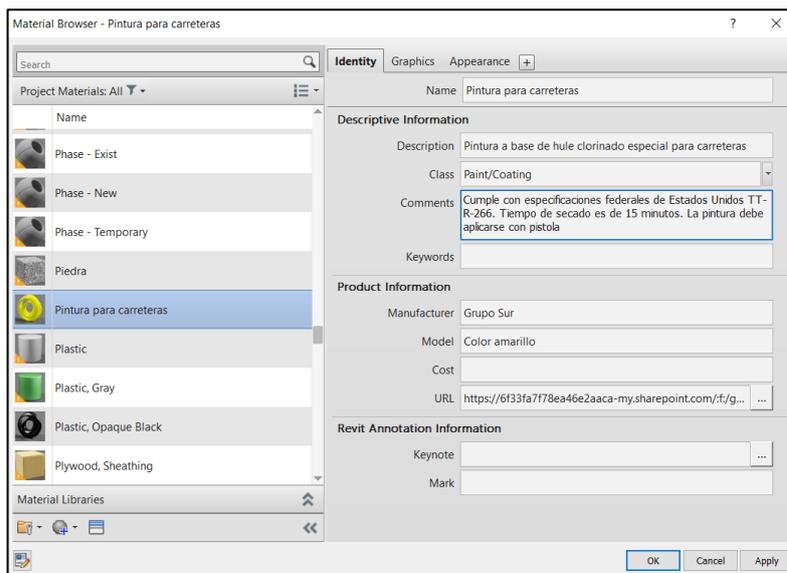


Figura 48. Información del material pintura para carreteras

Es importante destacar que todos los componentes que se han modelado se encuentran ubicados en el sitio donde están en la condición actual. Para asegurar la precisión, se utilizó la nube de puntos mencionada en secciones previas y visitas al sitio en repetidas ocasiones. Esto permitió eliminar cualquier error de ubicación y de esta manera, fue posible garantizar una representación fiable de la situación actual de la infraestructura.

Para modelar los elementos de las zonas de estacionamientos, se respetó la geometría, espesores, elevaciones, cantidad, ubicación, método de fijación y especificaciones que presentaba cada elemento en los planos as-built. Debido a esto, se utilizó un nivel de desarrollo de LOD-500 para las barras de anclaje de bicicletas y un LOD-400 para los topes de parqueo, ya que a pesar de que se modelaron respetando todas las condiciones indicadas, no se incluyó el acero de refuerzo. Si estas identidades se consideran como equipos e instalaciones, la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) recomienda un LOD-400 para un modelo as-built y un LOD-500 para un modelo utilizado para la operación y mantenimiento. De esta manera, se puede confirmar que las identidades de las zonas de estacionamientos satisfacen parcialmente lo recomendado por la CCC.

7.4.3 Nomenclatura

Con el objetivo de identificar los elementos de la infraestructura complementaria de la zona de estacionamientos de los demás modelos genéricos del proyecto, se utilizó una nomenclatura para caracterizarlos según el UniFormat, su material y acabado. Para esto, se implementó la siguiente estructura.

Cuadro 29. Nomenclatura implementada para el nombramiento de la infraestructura complementaria de la zona de estacionamientos

Nomenclatura: Zonas de estacionamiento	
Familia: PAR_UNIF_ Descripción_Material_Acabado	
Tipo: N/A	
UniFormat	
Descripción	Abreviatura
Parking Lot Appurtenances	G2020.20
Site Furnishings	G2060.25
Descripción	
Tope de parqueo	TOPE
Racks de bicicleta	BICI
Material o elemento	
Concreto	CONC
Acero	STE
Acabado	
Pintura de tránsito	PT
Inoxidable	INOX

A continuación, en la Figura 49 se observa la nomenclatura implementada de todos los modelos genéricos que componen el modelo.

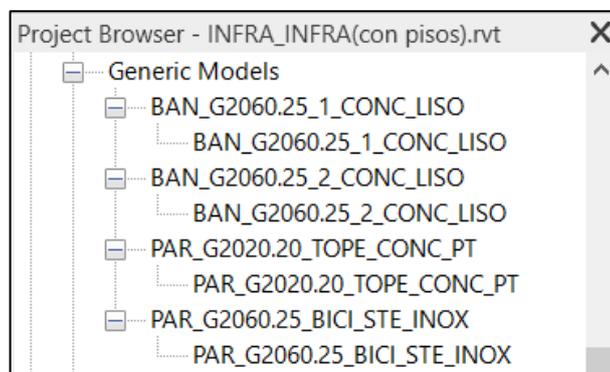


Figura 49. Aplicación de la nomenclatura de todos los modelos genéricos

7.5 Representación visual del modelo

En esta sección, se presenta de manera gráfica el modelo terminado, brindando una representación visual de las entidades mencionadas en las secciones anteriores. A continuación, se adjuntan figuras con renderizados del modelo que capturan con precisión los elementos y su interacción dentro del sistema.

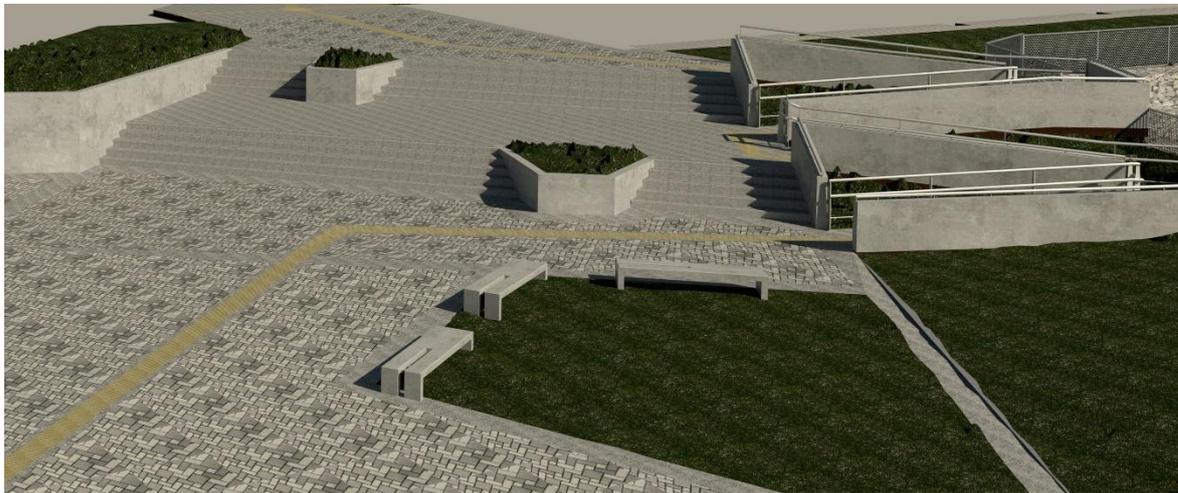


Figura 50. Ingreso a los edificios de aulas y administrativos

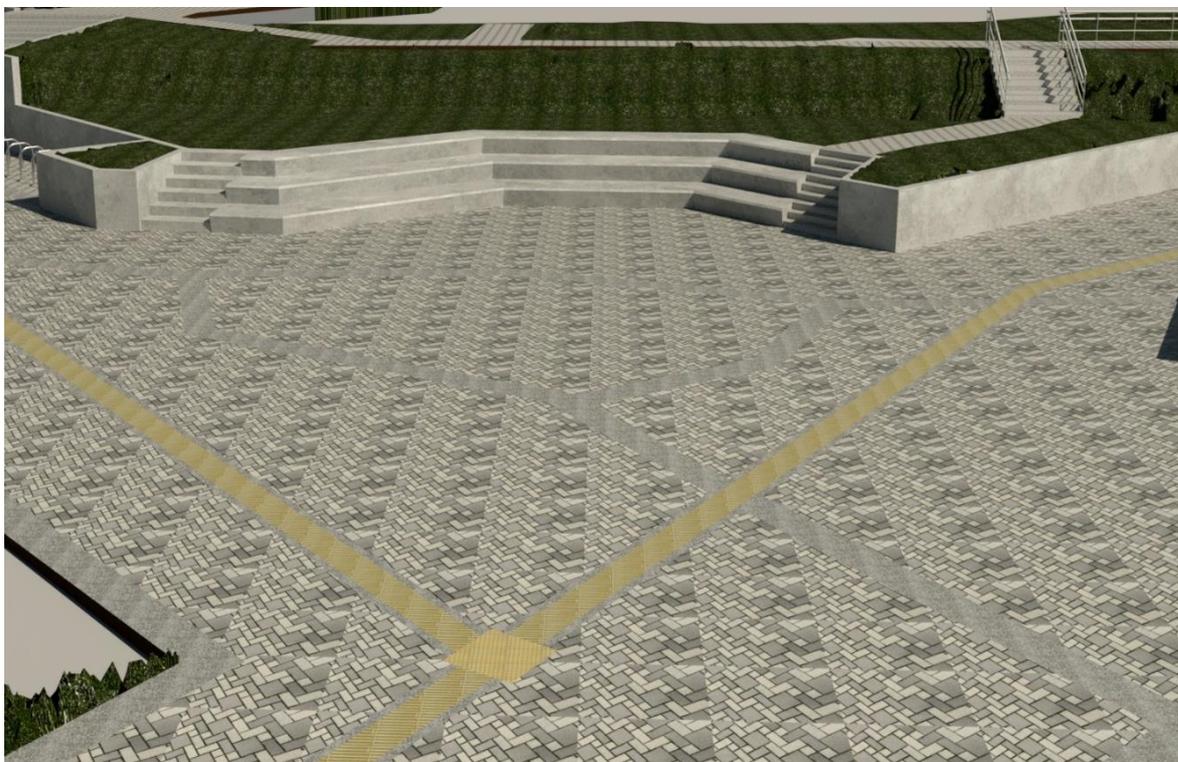


Figura 51. Plazoleta principal

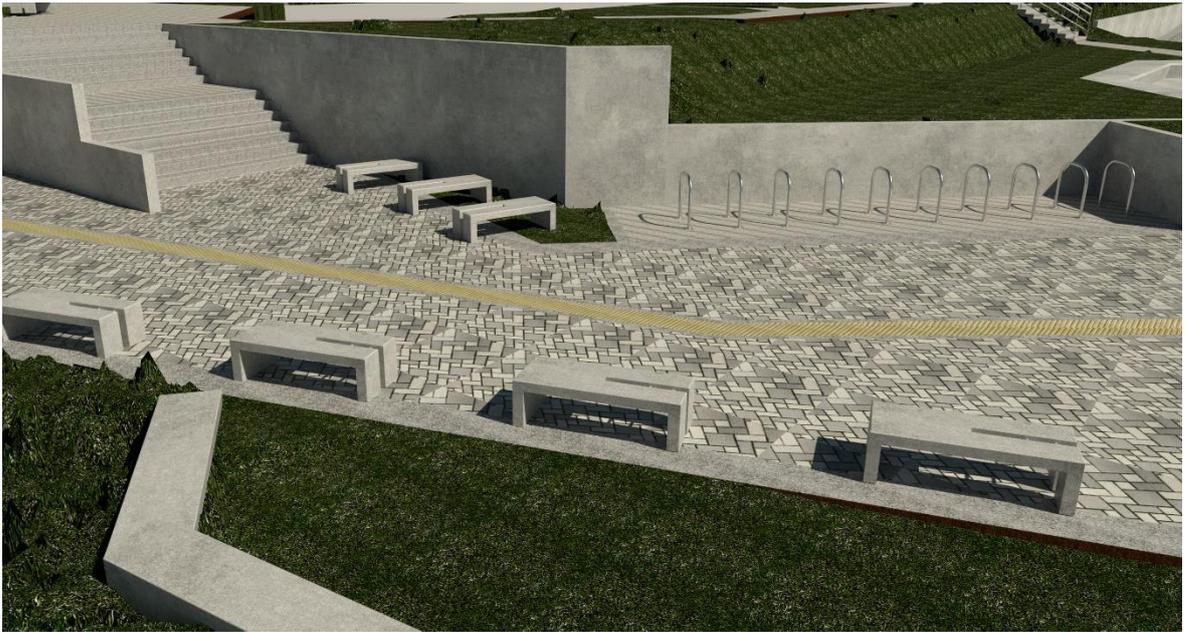


Figura 52. Sector anexo a la plazoleta principal

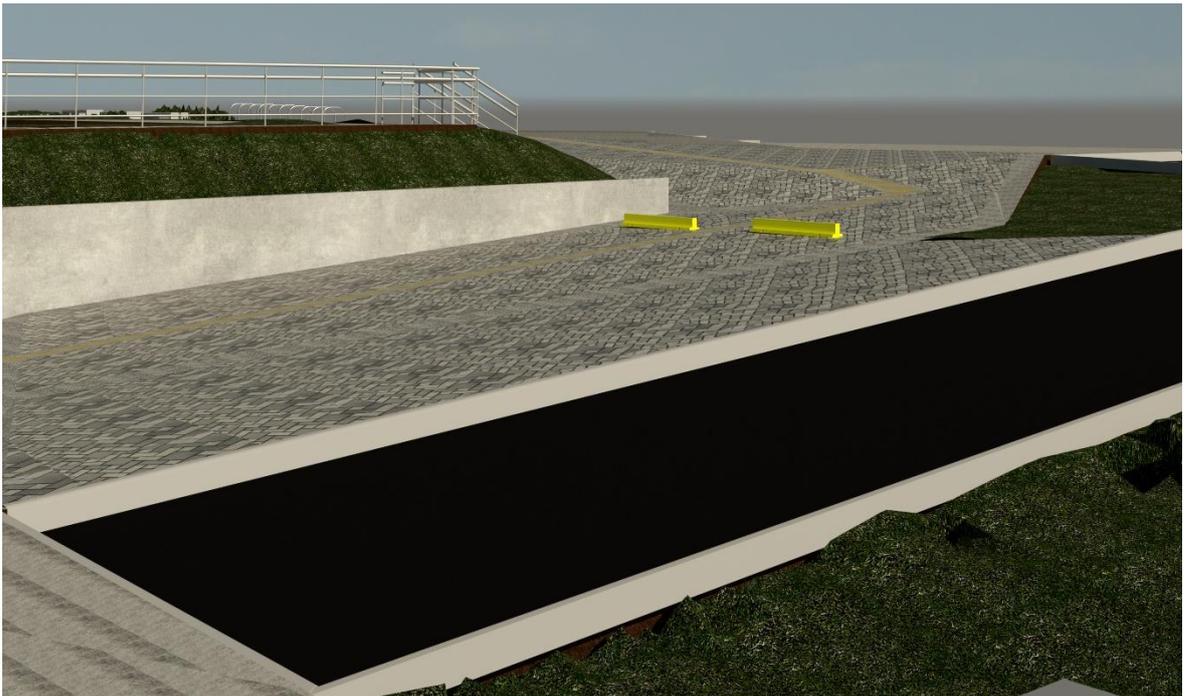


Figura 53. Sector cercano al INII

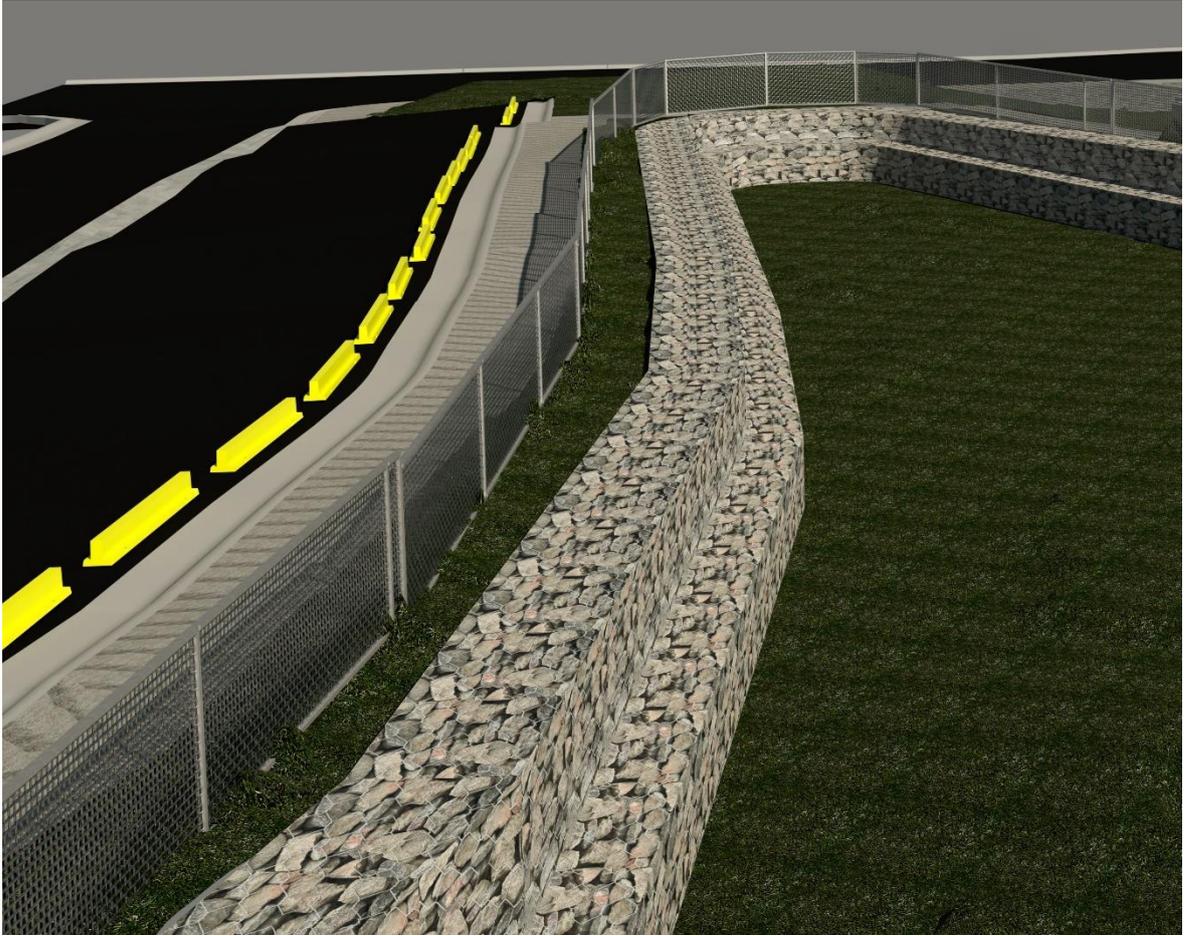


Figura 54. Laguna de retención pluvial y espacio de parques de los edificios de aulas y administrativo

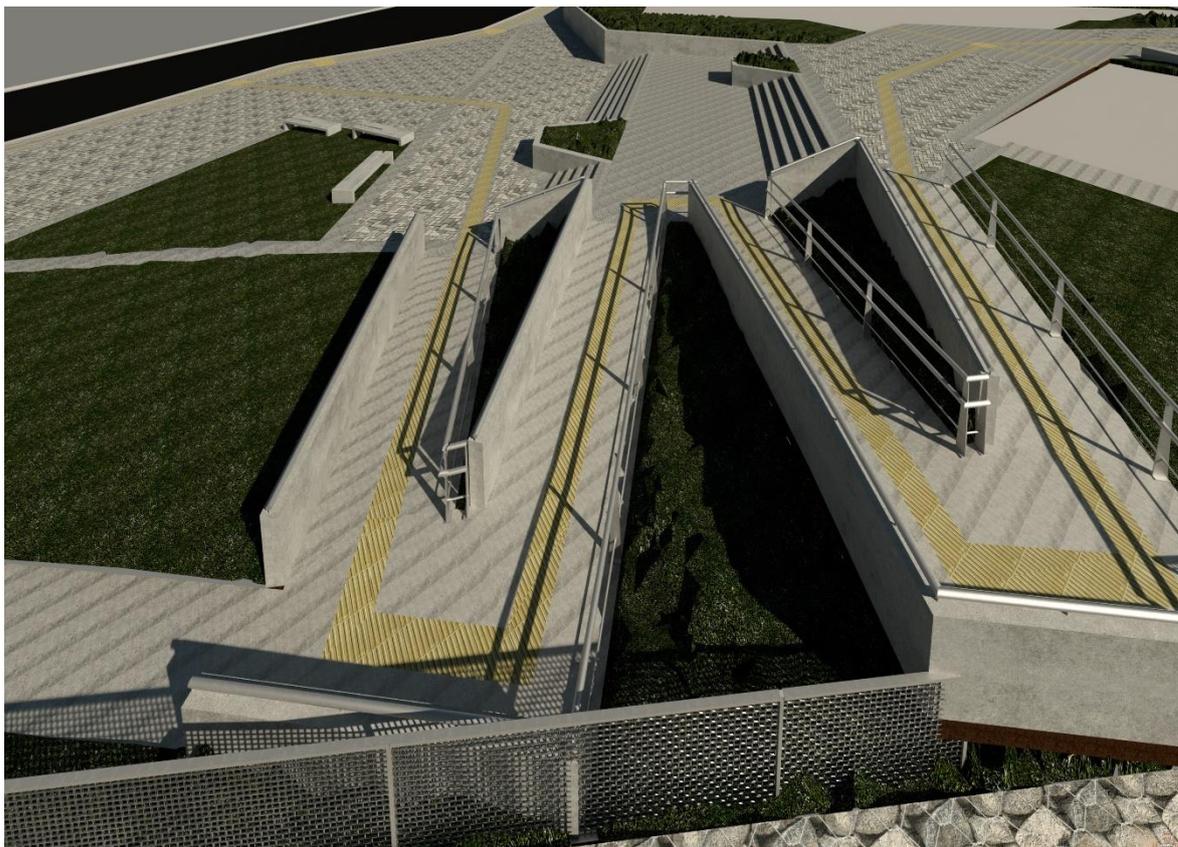


Figura 55. Rampas de acceso universal de los edificios de aulas y administrativo

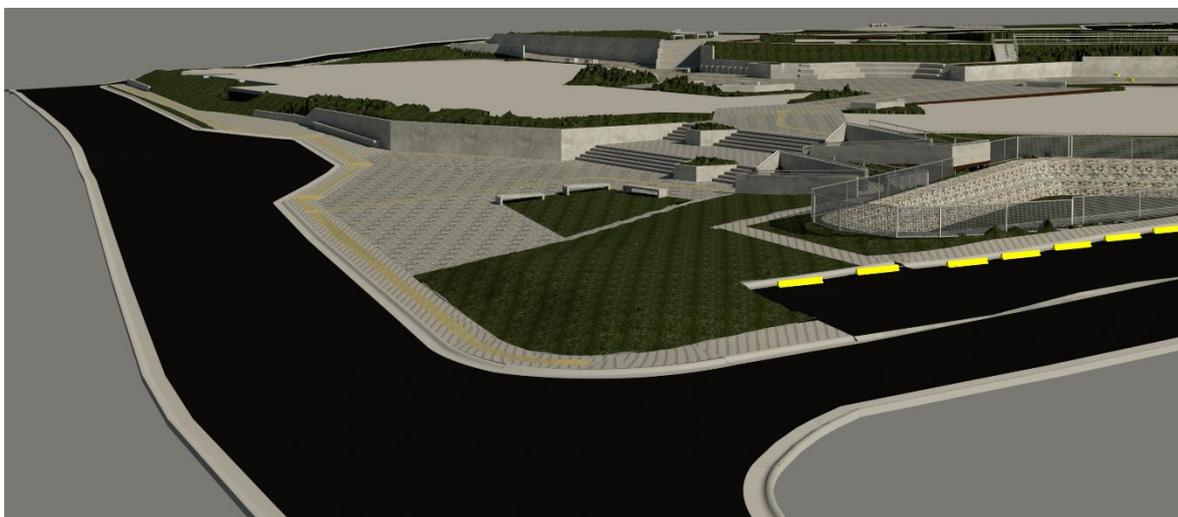


Figura 56. Perspectiva del modelo

CAPITULO VIII. Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

- El modelo BIM realizado del terreno e infraestructura externa a los edificios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica cumple con el alcance propuesto satisfactoriamente. Este abarca no solo la infraestructura vial, incluyendo calles, cordones y caños, bordillos y vados, sino también la infraestructura peatonal, como aceras, pisos, gradas y muros; así como la infraestructura complementaria, como barandas, cerramientos especiales, bancas y zonas de estacionamiento, entre otros elementos.
- El modelado BIM del terreno e infraestructura externa es una herramienta valiosa para la gestión del mantenimiento de dichas instalaciones. Permite tener una visión más completa y detallada de las características y condiciones de los elementos del terreno e infraestructura externa, lo que facilita la planificación y ejecución de actividades de mantenimiento.
- El modelo realizado para la infraestructura externa y el terreno cumple con las recomendaciones de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) para un modelo para la operación y mantenimiento, a excepción de las entidades de cordones y caños, vados, gradas y topes de parqueos. La falta de detalle necesario para cumplir de estas identidades se debe a que la información excedía el alcance de este trabajo o no estaba disponible en los planos proporcionados por la OEPI ni durante las visitas a las edificaciones.
- El desarrollo de un modelo BIM del terreno e infraestructura externa de la Facultad de Ingeniería puede contribuir a la optimización de los recursos destinados a la gestión del mantenimiento de dicha infraestructura. Esto se logra a través de la identificación temprana de problemas y la planificación anticipada de actividades de mantenimiento.
- A pesar de que el uso de un modelo BIM 3D suele acarrear consecuencias positivas, es importante tener en cuenta aspectos negativos al implementarlo en un proceso de gestión de activos y mantenimiento. El poner en marcha este plan requiere de una inversión significativa en hardware, software y capacitaciones sobre el uso de los entregables BIM para que los encargados puedan superar la curva de aprendizaje necesaria para adquirir los conocimientos técnicos que la metodología BIM conlleva.
- La implementación del Plan de Ejecución BIM (PEB) en un proyecto BIM federado, el cual es el caso del presente trabajo, fue esencial para la coordinación y colaboración efectiva entre las distintas disciplinas involucradas. El PEB ayudó a

establecer estándares y protocolos de intercambio de datos, definir requisitos de modelado, coordinación e intercambio de información.

- A través de la colaboración basada en el método de la integración de modelos definido en el PEB, se logró incorporar modelos de diferentes disciplinas en un único archivo, incluyendo infraestructura vial, peatonal, eléctrica, pluvial, potable y mecánica. La interacción entre estas disciplinas permitió una visualización más clara y un mejor entendimiento del proyecto, ya que cada elemento se encuentra ubicado y orientado espacialmente como se encuentra en las condiciones actuales.
- La aplicación de un sistema de clasificación de la información, y en específico UniFormat, permitirá mejorar la comprensión del modelo para futuros usuarios ya que proporciona un marco de referencia común y global para la identificación y organización de las identidades. Además, al abarcar todos los elementos modelados facilitó la coordinación de los modelos, ya que se pueden identificar claramente los elementos que los componen.
- Las nubes de puntos son herramientas que ofrecen muchas ventajas dado que permiten una captura detallada y precisa de la geometría de los elementos. La representación fiel de estos permitió realizar análisis y mediciones, solucionando la falta de información en los planos y asegurando la creación de un modelo "as built". Además, reducen significativamente la necesidad de visitas a campo, ya que la mayoría de la información se encuentra representada en el modelo digital.
- A pesar de que utilizar nubes de puntos conlleva varios beneficios, es importante tener en cuenta aspectos negativos al implementarlas en un proceso de modelado BIM. Las nubes de puntos suelen generar grandes volúmenes de datos, lo que requiere un almacenamiento y procesamiento significativos. Además, los procesos de alineación, limpieza y filtrado de los datos son tareas laboriosas que requieren de conocimientos técnicos y una inversión considerable de tiempo. Y por último y quizás el de más peso son los costos asociados, ya que se requiere una inversión económica considerable en equipos y software especializado.
- El software utilizado para desarrollar el modelo e integrar la información, Revit, cumplió con los objetivos y expectativas planteadas para este trabajo. A través de sus diversas herramientas, se logró integrar y gestionar de manera efectiva la información necesaria para el mantenimiento de las instalaciones, centralizándola en un único lugar. Además, utilizando las herramientas de colaboración que ofrece se aseguró la coherencia entre los modelos de todas las disciplinas involucradas. Por último, la capacidad de importar datos en múltiples formatos permitió utilizar

información previa, como la nube de puntos y la superficie generadas en otros softwares, lo que hizo más eficiente el proceso de modelado.

- El modelo desarrollado para la Facultad de Ingeniería puede servir como referencia para futuros proyectos similares a desarrollarse en la Universidad de Costa Rica o, inclusive, en el país.

8.2 Recomendaciones

- Se recomienda incluir dentro del modelo fechas de instalación, revisión, sustitución, protocolos de mantenimiento y otros parámetros relacionados para poder utilizar el modelo BIM para la toma de decisiones relacionadas con la gestión del mantenimiento, ya que la información que el modelo realizado proporciona es detallada y permite identificar áreas por mejorar en la infraestructura externa de la Facultad de Ingeniería.
- Se recomienda actualizar el modelo BIM de manera periódica, con el objetivo de asegurarse de que la información que se maneja en él sea precisa y, sobre todo, actualizada. En caso de que las condiciones actuales de las identidades cambien, es necesario actualizar el modelo mediante un nuevo proceso de modelado. Para esto, se sugiere utilizar el Plan de Ejecución BIM expuesto en el Anexo 1.
- Se sugiere, basándose en un estudio de suelos en diferentes sectores de la Facultad de Ingeniería, modelar la estratigrafía del terreno existente con sus respectivas propiedades geotécnicas.
- Se recomienda incorporar dentro del modelo información relevante no gráfica dentro de las pestañas de los materiales que no se encontró en las diferentes fuentes de información. Esta información incluye detalles de proveedores, modelos, fichas técnicas, entre otros. Los principales materiales que carecen de esta información son metales (aceros, aluminios y hierros), concretos y agregados (piedra, lastre y bases).
- Se aconseja a la OSG y a la Universidad de Costa Rica invertir en equipo y, principalmente, en capacitaciones al personal encargado de la gestión del mantenimiento sobre la metodología BIM y, esencialmente, en el manejo del modelo y la interpretación de los datos que se obtienen de él, para que se pueda aprovechar al máximo.
- Se recomienda a la OSG generar un Plan de Desarrollo para el uso del modelo del terreno y la infraestructura externa de la Facultad de Ingeniería y otros modelos

existentes o futuros en la implementación de la séptima dimensión de la metodología BIM para la gestión y el mantenimiento de las instalaciones.

- Es siempre recomendable en proyectos de inversión de la Universidad, establecer un protocolo riguroso para el desarrollo o recepción de los planos as-built con el fin de garantizar que correspondan fielmente con las obras construidas y se eviten errores o malentendidos. Asimismo, se podría considerar la implementación de herramientas tecnológicas o softwares especializados para la gestión y actualización de los planos.
- Debido a la experiencia obtenida se sugiere a futuros estudiantes que planteen trabajos finales de graduación similares, estudiar en detalle los planos "as built" existentes con el objetivo de definir apropiadamente el alcance que puede presentar su proyecto.
- Se recomienda a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica sugerir al estudiantado plantear un trabajo final de graduación que consista en enlazar los distintos modelos generados de la Facultad de Ingeniería y corregir todas las discrepancias que puedan surgir entre ellos, para que de esta manera la OSG tenga disponibles modelos compatibles entre sí para la apropiada implementación de la dimensión 7D BIM.
- Se recomienda a futuros estudiantes que planteen futuros trabajos finales de graduación similares, georreferenciar el modelo desarrollado utilizando el sistema coordinado CRTM05. Esto con el objetivo de que el proceso de integración de los modelos sea lo más sencillo posible.
- Se recomienda a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica generar lazos con otras escuelas, como la Escuela de Ingeniería Eléctrica, con el fin de seguir desarrollando proyectos similares en futuros trabajos finales de graduación. Esta iniciativa le permitiría a la OSG contar con una mayor cantidad de modelos y, por ende, mayor cantidad de información integrada en un único lugar.
- Se sugiere el uso de nubes de puntos, y no solo los planos "as built", en futuros trabajos finales de graduación similares con el objetivo de asegurar la representación fiel de las condiciones actuales de las instalaciones en un modelo "as built".
- Se sugiere explorar la nueva función de autoclasificación de puntos que presenta el software ReCap Pro para definir una nueva representación digital de la superficie que podría ser más precisa.

- Se aconseja a la OSG clasificar los materiales presentes en el modelo y de los demás que se relacionan a este trabajo final de graduación utilizando el sistema de clasificación de la información OmniClass.
- Se recomienda documentar adecuadamente el modelo BIM desarrollado y toda su información complementaria, para que pueda ser utilizado por otros usuarios en el futuro y no se pierda la información.

CAPITULO IX. Referencias Bibliográficas

- Akcamete, A., Akinci, B., & Garret, J. H. (2010). Potential utilization of building information models for planning maintenance activities. *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. USA: Carnegie Mellon University.
- Albarello, A., Gutiérrez-Bucheli, L., & Ponz-Tienda, J. (2019). BIM PARA EL MANTENIMIENTO: MÁS PLANEACIÓN MENOS SOBRECOSTOS. *Journal of BIM and Construction Management*.
- Autodesk. (2021). *Revit Software*. Obtenido de Autodesk: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>
- Autodesk. (s.f.). *Civil 3D*. Obtenido de Autodesk: <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>
- Autodesk. (s.f.). *Recap pro*. Obtenido de Autodesk: <https://www.autodesk.com/products/recap/overview>
- BIM FORUM. (2020). *LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION PART I & COMMENTARY*. Obtenido de Bimforum: www.bimforum.org/lod
- BIM Fórum Costa Rica. (s.f). *¿QUÉ ES BIM FORUM COSTA RICA?* Obtenido de Construcción 4.0: <https://www.construccion.co.cr/BimForum>
- BIMnD. (s.f.). *Guía rápida para quitarte el miedo a trabajar con Nube de Puntos 3D*. Obtenido de BIMnD Building new dimensions: <https://www.bimnd.es/trabajar-con-nubes-de-puntos-miedo-fuera/>
- Brenes, N. (2020). *Implementación de la Metodología BIM en el Diseño de Proyectos de Infraestructura Vial de la Organización INTRA Consultores*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica: Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción.
- Camacho, P. (2009). *Diseño de un Plan Modelo de Mantenimiento para Edificios del ICE*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica: Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción.
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2018). *Guía de implementación BIM para las empresas*. Costa Rica: BIM Fórum Costa Rica.
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2021). *GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA SOLICITUD DE INFORMACIÓN BIM (SDI BIM)*. Costa Rica: BIM Forum Costa Rica.

- Campos, I. (2019). *Guía para la creación de un modelo de quinta dimensión (costo) del BIM en un proyecto constructivo*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica: Trabajo Final de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.
- Carmona, M. (2019). *Propuesta para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica: Trabajo Final de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.
- Chonkan, L. (2016). *Modelado de Información de Edificios como Herramienta en la Programación de Obra y Mejoramiento de la Constructibilidad*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica: Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.
- Coloma, E. (2008). *INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA BIM*. Universitat Politècnica de Catalunya: Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica I.
- CORFO. (s.f). *¿Qué es Planbim?* Obtenido de Planbim Chile: <https://planbim.cl/que-es-planbim/>
- CSI. (2010). *UniFormat: A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies*.
- De Armas, D. (2022). *Modelado BIM del sistema eléctrico y arquitectónico de la nueva Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica para la gestión del mantenimiento durante su ciclo de vida*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica: Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Esarte, A. (9 de Enero de 2020). *UNIFORMAT, ¿QUÉ ES UNIFORMAT Y UNIFORMAT II?* Obtenido de Espacio BIM: <https://www.espaciobim.com/uniformat>
- González, L. M. (2015). *Modelado de un edificio habitacional utilizando la herramienta BIM para la cuantificación de elementos de construcción*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica: Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

- Kymell, W. (2008). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. McGraw-Hill Education.
- Leica Geosystems. (s.f.). *Leica Cyclone 3D Point Cloud Processing Software*. Obtenido de Leica Geosystems: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2006). *Close Range Photogrammetry Principles, techniques and applications*.
- MIDEPLAN. (14 de Febrero de 2020). *Metodología BIM modernizará la construcción de infraestructura pública*. Obtenido de Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica: <https://www.mideplan.go.cr/metodologia-bim-modernizara-la-construccion-de-infraestructura-publica>
- Mundo BIM. (15 de Marzo de 2017). *Niveles de desarrollo (LOD) y su importancia en Revit*. Obtenido de Mundo BIM: <https://mundobim.com/2017/03/level-of-development-lod-bim/>
- Oficina de Servicios Generales. (s.f). *¿Quiénes somos?* Obtenido de OSG Universidad de Costa Rica: <http://www.osg.ucr.ac.cr/index.php/osg-quienes-somos/antecedentes>
- Picado, Y. (2022). *Modelado BIM de los sistemas arquitectónico y eléctrico del edificio de laboratorios para docencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica para su mantenimiento y operación*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica: Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.
- Rodríguez, C. (2019). *Plan de Acción para la Implementación de la Metodología BIM en las Operaciones de Constructora Costarricense S.A.* Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica: Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción.
- Salas, O. (23 de Agosto de 2016). *UCR invierte en varios edificios para Facultad de Ingeniería*. Obtenido de Noticias UCR: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2016/08/23/ucr-invierte-en-varios-edificios-para-facultad-de-ingenieria.html>
- Salas, O. (13 de Agosto de 2018). *Costa Rica invierte en ingeniería para asegurar su desarrollo*. Obtenido de Noticias UCR:

<https://www.ucr.ac.cr/noticias/2018/08/13/costa-rica-invierte-en-ingenieria-para-asegurar-su-desarrollo.html>

University of South Florida. (2018). *Bim Project Execution Plan Template*. Obtenido de <https://www.usf.edu/administrative-services/facilities/documents/design-construction/guide-bim-plan.docx>

Vargas, A. (2015). *Implementación del Modelado de Información de la Edificación (BIM) para detectar diferencias entre diseños de profesionales y facilitar el proceso constructivo*. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica: Tesis de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Vázquez, A. (2020). *Propuesta de un plan para la implementación BIM en la empresa constructora Estructuras S.A.* Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica: Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción.

Apéndice A



Figura 57. PAR_G2060.25_BICI_STE_INOX

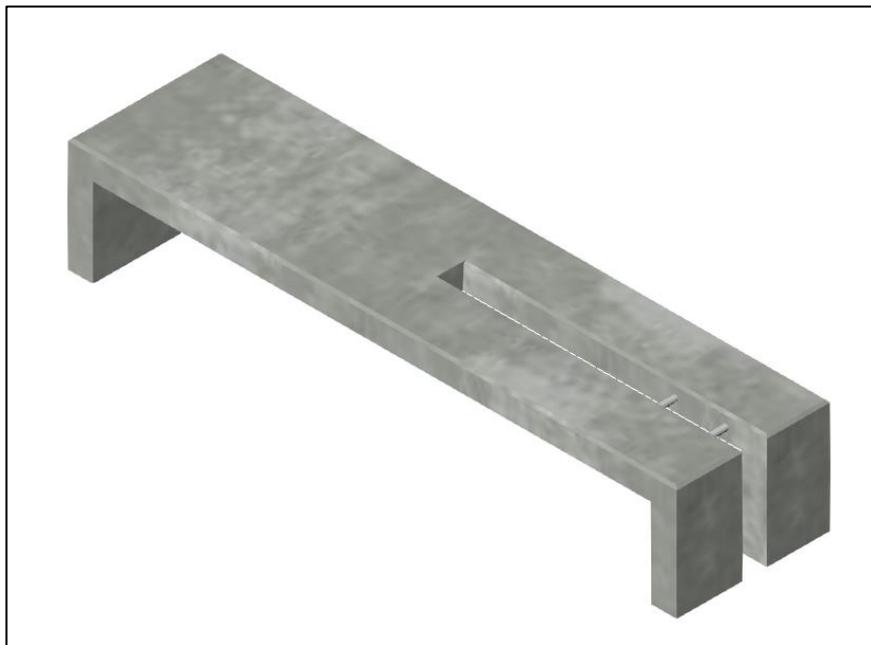


Figura 58. BAN_G2060.25_2_CONC_LISO

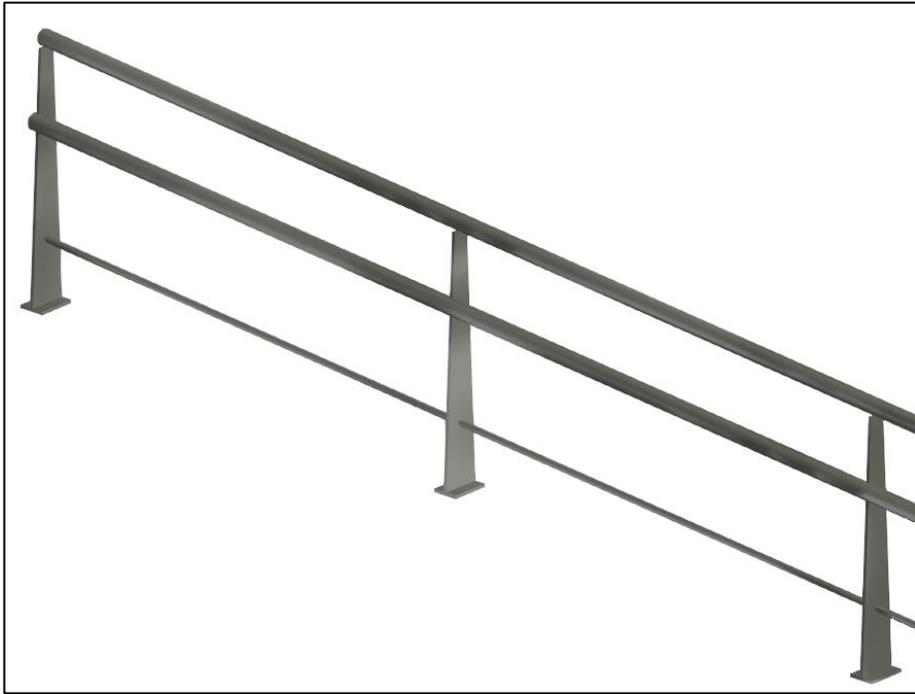


Figura 59. RAI_B2080.50_BAR_STE_FI

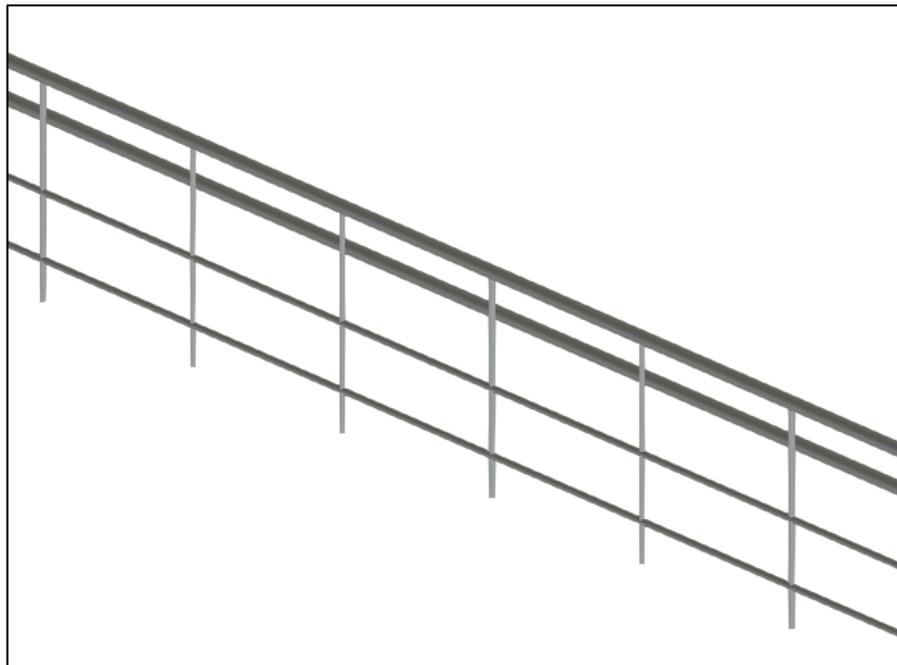


Figura 60. RAI_B2080.50_PAS_STE_IE

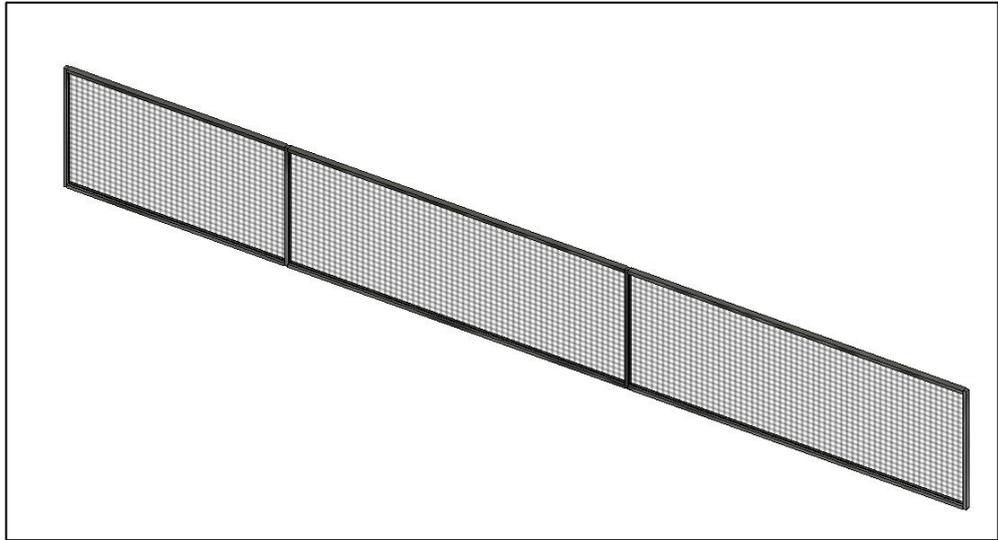


Figura 61. CERR_G2060.20_MALLA_FI

Apéndice B



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Plan de Ejecución BIM

Infraestructura de la Facultad de Ingeniería de la
Universidad de Costa Rica

TABLA DE CONTENIDOS

A: RESUMEN DEL PLAN DE EJECUCIÓN BIM	1
B: INFORMACIÓN DEL PROYECTO	2
C: CONTACTOS IMPORTANTES DEL PROYECTO	3
D: OBJETIVOS DEL PROYECTO / USOS BIM	4
E: ROLES	6
F: ESTRATEGIA DE COLABORACIÓN	8
G: ESTRATEGIA DE COLABORACIÓN	10
H: CONTROL DE CALIDAD	13
I: NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA	14
J: ESTRUCTURA DEL MODELO	15
K: ENTREGABLES DEL PROYECTO.....	19

A: RESUMEN DEL PLAN DE EJECUCIÓN BIM

Para llevar a cabo con éxito la aplicación de la metodología BIM y alcanzar los objetivos de rendimiento establecidos para el proyecto, se elaboró un Plan de Ejecución BIM (PEB). Este documento proporciona una guía clara para la ejecución de tareas relacionadas con el modelado de las estructuras, de acuerdo con los estándares BIM. En él se establecen los usos BIM que se implementarán, así como una estructura de trabajo colaborativa para garantizar una gestión eficiente de la información durante todo el ciclo de vida de la Facultad de Ingeniería.

Es importante destacar que el Plan de Ejecución BIM es un documento dinámico que se actualizará y adaptará según las necesidades de la Oficina de Servicios Generales (OSG), para mantener un flujo de trabajo colaborativo a lo largo de todo el proyecto. Con esta herramienta, se pretende optimizar el uso de los recursos y reducir los costos de mantenimiento, mejorando la eficiencia y calidad del proyecto.

B: INFORMACIÓN DEL PROYECTO

1. **PROPIETARIO DEL PROYECTO:** Universidad de Costa Rica
2. **NOMBRE DEL PROYECTO:** Facultad de Ingeniería (Infraestructura)
3. **UBICACIÓN Y DIRECCIÓN DEL PROYECTO:** Ciudad Universitaria Rodrigo Facio Brenes, Ciudad de la investigación, San José, San Pedro
4. **BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:** Consiste en la infraestructura alrededor de los edificios que conforman la Facultad de Ingeniería con un área de intervenida de 18263.3 m². Como su nombre lo dice, el sitio es utilizado principalmente para recibir a estudiantes de diversas carreras de ingeniería como química, industrial, civil, eléctrica, entre otras.
5. **Información adicional del Proyecto:** Se requiere del modelado detallado de los elementos del sistema sanitario, eléctrico, potable e infraestructura utilizando herramientas de modelado BIM.
6. **CALENDARIO DEL PROYECTO:**

FASE DEL PROYECTO	FECHA ESTIMADA DE INICIO	FECHA ESTIMADA DE FINALIZACIÓN
Obtención de Planos "As-Built"	Enero 2022	Marzo 2022
Escaneo láser	Setiembre 2022	Diciembre 2022
Modelado As-Built	Diciembre 2022	Abril 2023

C: CONTACTOS IMPORTANTES DEL PROYECTO

Role	ORGANIZA- CION	NOMBRE DE CONTACTO	LOCALIZA- CION	E-MAIL	TELEFONO
Modelado Electromecánico	UCR	Gabriel Valentine Fonseca	Coronado	Gabriel.valentine@ucr.ac.cr	8984-3591
Modelado Infraestructura	UCR	David Andrés Mora Herrera	Heredia	David.moraherrera@ucr.ac.cr	8629-6584

D: OBJETIVOS DEL PROYECTO / USOS BIM

1. OBJETIVOS BIM:

PRIORIDAD (Alta/ Media/ Baja)	DESCRIPCIÓN DE OBJETIVOS	POTENCIALES USOS BIM
Alto	Contar con un inventario gráfico de los componentes principales de la edificación	Modelación as-Built; Levantamiento de condiciones existentes
Alto	Integrar información de diferentes disciplinas (como arquitectura, estructuras, instalaciones, etc.) en un mismo modelo	Gestión del mantenimiento
Alto	Establecimiento de los niveles de desarrollo y niveles de información requeridos para el modelo BIM	Gestión de activos; Levantamiento de condiciones existentes
Media	Definición de las herramientas y tecnologías necesarias para la creación y gestión del modelo BIM	Monitoreo de los componentes; Actualización del modelo

2. Usos BIM:

En el siguiente cuadro se señalan los diferentes usos BIM que se pueden desarrollar luego de haberse confeccionado el modelo BIM, dando así una guía para determinar el nivel de desarrollo que debe tener el modelo para poder cumplir con los usos determinados. Estos usos pueden cambiar y actualizarse acorde a lo que se desee implementar en el proyecto.

PLANIFICACION	DISEÑO	CONSTRUCCION	X	OPERACION
Programación	Autoría de diseño	Análisis de emplazamiento		Análisis de sistema de edificio
Análisis del sitio	Revisión de diseño	Diseño del Sistema Constructivo	x	Programación de mantenimiento
	Coordinación 3D	Coordinación 3D	x	Gestión de Activos
	Análisis Estructural	Fabricación Digital	x	Gestión del Espacio/Monitoreo

PLANIFICACION	DISEÑO	CONSTRUCCION	X	OPERACION
	Análisis de Iluminación	Planeamiento y Control 3D	x	Planificación ante Desastres
	Análisis de Energía	Modelado de Registros	x	Modelado de Registros
	Análisis Mecánico			
	Otros Análisis Ingenieriles			
	Evaluación de Sostenibilidad (LEED)			
	Validación de Códigos/Normativa			
Planeamientos de Fases (Modelado 4D)	Planeamientos de Fases (Modelado 4D)	Planeamientos de Fases (Modelado 4D)		Planeamientos de Fases (Modelado 4D)
Estimación de Costos	Estimación de Costos	Estimación de Costos		Estimación de Costos
Modelado de Condiciones Existentes	Modelado de Condiciones Existentes	Modelado de Condiciones Existentes	x	Modelado de Condiciones Existentes

E: ROLES

1. ROLES BIM Y RESPONSABILIDADES:

1.1. Gerente BIM

El gerente BIM es el encargado de la coordinación entre los diferentes grupos de trabajo y los propietarios del proyecto para tratar temas relacionados con el BIM. Este individuo deberá tener suficiente experiencia con la metodología BIM requerida en un proyecto del tamaño y complejidad al que se está planteando, con habilidad en software de modelado BIM. Las responsabilidades del gerente BIM son las siguientes:

- Garantizar el desarrollo y cumplimiento del Plan de Ejecución BIM para la Facultad de Ingeniería de la UCR.
- Coordinar la capacitación del personal en software BIM y en herramientas para la gestión de archivos e información generada.
- Coordinar la creación del servidor para el intercambio de archivos con ayuda de personal de tecnologías de información.
- Ensamblar el modelo federado para reuniones de coordinación.
- Facilitar el uso de modelos federados en reuniones de coordinación de conflictos/choque de elementos y generar reportes donde se identifique y se planteen soluciones para estos conflictos.
- Agenda, coordina y facilita reuniones BIM entre las diferentes disciplinas participando en el modelado del proyecto.
- Determinar los puntos coordinados donde se basarán los modelos de las diferentes disciplinas.
- Asegurar que los productos BIM generados cumplan con lo determinado en el PEB y que cumplan con el formato establecido.
- Monitorear el cumplimiento de los diferentes entregables y su nivel de desarrollo determinado.

1.2. Líderes de coordinación BIM

Para cada una de las disciplinas involucradas en el modelado BIM del proyecto (estructural, mecánico, eléctrico y arquitectónico) se debe asignar un líder de coordinación BIM respectivamente para coordinar su trabajo durante el desarrollo del proyecto. Estos líderes deben poseer la experiencia con la metodología BIM necesaria para manejar proyectos de cierta

complejidad. Como mínimo, los líderes de coordinación BIM tendrán las siguientes responsabilidades:

- Coordinar el desarrollo BIM de su disciplina, requerimientos de información y normativa necesaria con el Gerente BIM del proyecto.
- Liderar a su equipo de trabajo con los requerimientos técnicos necesarios para generar la documentación BIM de su disciplina correspondiente.
- Coordinar la detección de conflictos/choques y sus soluciones, y capacitaciones BIM.

1.3. Subcontratistas o ejecutores de mantenimiento

Para el mantenimiento de estructuras y sistemas que componen la facultad de ingeniería de la Universidad de Costa Rica, existirá un encargado de llevar a cabo las tareas de construcción, reemplazo, acondicionamiento, remodelación, entre otras actividades necesarias para mantener el óptimo funcionamiento del inmueble. Las responsabilidades de este encargado serán las siguientes:

- Proveer al administrador del inmueble con información del trabajo realizado, tanto información técnica, como otros parámetros necesarios para enriquecer el modelo existente de la estructura.
- Estos encargados no tendrán acceso para la modificación del modelo existente, sin embargo, sí tendrán acceso a la información necesaria para poder dar mantenimiento de una manera adecuada, conociendo antecedentes y componentes clave que deben ser sometidos a mantenimiento.

F: NIVELES DE INFORMACIÓN

Los niveles de información se utilizan para determinar el grado de detalle y precisión de los datos y la información necesarios en cada disciplina y etapa del proyecto. En este caso se definirán mediante los denominados niveles de desarrollo (LOD).

El nivel de desarrollo para todos los elementos proyectados en las distintas disciplinas seguirá lo especificado en los estándares referentes a nivel mundial por BIM FORUM en sus especificaciones publicadas en el 2020.

Según los usos y objetivos BIM propuestos, los elementos modelados se evaluarán según las siguientes figuras extraídas de los documentos técnicos publicados por la Cámara Costarricense de la Construcción, específicamente, en su Guía Para la Elaboración de una Solicitud de Información BIM.

ESTADOS DE AVANCE DE LA INFORMACIÓN DE LOS MODELOS		TIPOS DE ELEMENTOS EN MODELOS BIM									
		Ejes	Terreno	Elementos Civiles	Elementos Geográficos	Fundaciones	Zonas/Espacios	Columnas	Vigas	Losas	→
PLANIFICACIÓN	EP ESTUDIOS PRELIMINARES	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	EST ESTUDIOS TÉCNICOS	NA	LOD 100	LOD 200	LOD 200	NA	NA	NA	NA	LOD 100	
	DC DISEÑO CONCEPTUAL	LOD 200	LOD 100	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200
DISEÑO	DA DISEÑO DE ANTEPROYECTO	LOD 200	LOD 100	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	
	DD DESARROLLO DEL DISEÑO	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	
CONSTRUCCIÓN	CC COORDINACIÓN DE CONSTRUCCIÓN	LOD 300	LOD 300	LOD 350	LOD 300	LOD 300	LOD 350	LOD 300	LOD 300	LOD 350	
	CM CONSTRUCCIÓN, FABRICACIÓN Y MONTAJE	LOD 300	LOD 300	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 350	
	AB AS BUILT	LOD 300	LOD 300	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	
OPERACIÓN	PM PUESTA EN MARCHA	LOD 300	LOD 300	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	
	OM OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	LOD 300	LOD 300	LOD 500	LOD 350	LOD 350	LOD 500	LOD 350	LOD 350	LOD 400	

Elaborado por BIM Forum Costa Rica, basado en: Planbim (2019)

→	TIPOS DE ELEMENTOS EN MODELOS BIM											
	Muros	Muros Cortina	Ventanas	Puertas	Cubiertas/Techos	Cielos Falsos/Acabados	Escaleras/Rampas	Equipos e Instalaciones	Muebles	Estructuras Especiales	Equipamiento electromecánico	Distribución y tuberías
	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 100	LOD 100	LOD 200	NA	NA	NA	NA	NA
	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 100	LOD 100	LOD 200	LOD 100	LOD 100	LOD 100	LOD 100	LOD 100
	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 200	LOD 300	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200	LOD 200
	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300	LOD 300
	LOD 300	LOD 300	LOD 350	LOD 350	LOD 300	LOD 350	LOD 300	LOD 350	LOD 300	LOD 300	LOD 350	LOD 350
	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 350	LOD 400	LOD 400
	LOD 350	LOD 400	LOD 400	LOD 400	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 400	LOD 400	LOD 400	LOD 400	LOD 400
	LOD 350	LOD 400	LOD 400	LOD 400	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 500	LOD 400	LOD 400	LOD 500	LOD 500
	LOD 350	LOD 500	LOD 500	LOD 500	LOD 350	LOD 400	LOD 350	LOD 500	LOD 400	LOD 400	LOD 500	LOD 500

Elaborado por BIM Forum Costa Rica, basado en: Planbim (2019)

G: ESTRATEGIA DE COLABORACIÓN

1. ENTORNO DE DATOS COMPARTIDOS:

En esta sección se define una fuente única de información donde se dará la gestión y recopilación de los documentos y modelos a través de un proceso estandarizado.

ENTORNO DE DATOS COMPARTIDOS	
El CDE utilizado está conformado por una sola plataforma	
Sí <input checked="" type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Plataformas y formatos del Entorno de Datos Compartidos	
Entorno de Datos Compartidos (CDE):	OneDrive
Plataforma de colaboración:	Revit
Plataforma de gestión documental	OneDrive

ACTUALIZAR LOS DATOS SEMANALMENTE

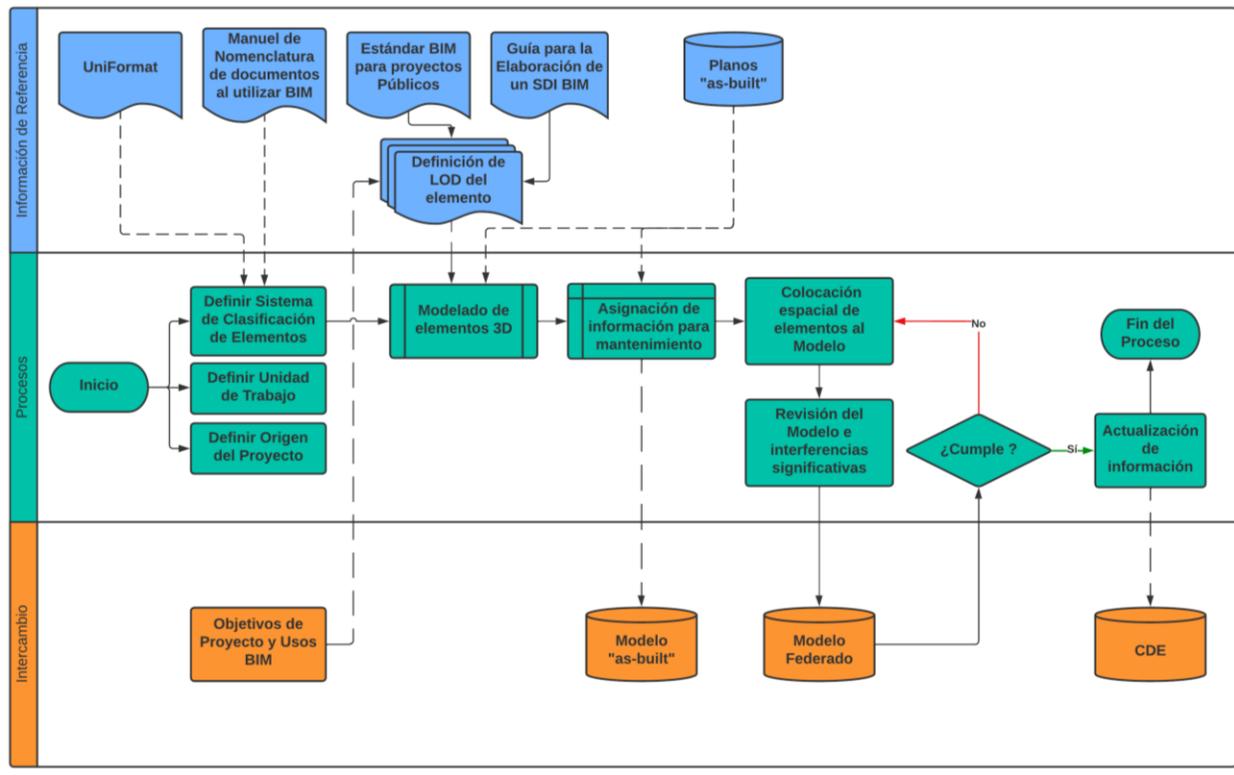
2. CONSOLIDACIÓN DE MODELOS BIM:

La consolidación de los Modelos BIM es de suma importancia, para esto existen dos formas de hacerlo, lo cual dependerá de los recursos disponibles y de la forma en que se colaborará con los demás participantes.

ESTRATEGIA	Sí	No
Modelo BIM Federado	X	
Modelo BIM Integrado		X

3. FLUJO DE TRABAJO:

El flujo de trabajo propuesto tiene el propósito de generar un orden lógico a la hora de implementar la metodología o desarrollar un modelo multidisciplinario en la cual participan varios actores. A continuación, se muestra dicho flujo, el cual presenta las áreas de Información de Referencia, Procesos e Intercambio.



4. PROCEDIMIENTO DE REUNIONES:

En esta sección se pretende indicar tanto los participantes como las principales reuniones de trabajo y coordinación que se realizarán a lo largo del proyecto.

Tipo de reunión	Etapas del proyecto	Especialidades que participan	Frecuencia de reuniones	Cantidad de reuniones	Ubicación	Modalidad	Tipo de respaldo
Revisión del PEB	Todo el proyecto	N/A	30 días	4	Residencia	Virtual	Minuta
Inicio del modelado As-Built	Levantamiento Infraestructura	N/A	7 días	10	Residencia	Virtual	Minuta
	Levantamiento de los sistemas MEP	N/A	7 días	10	Residencia	Virtual	Minuta
Coordinación de los modelos	Federación de los modelos	N/A	7 días	4	Residencia	Presencial	Minuta

H: CONTROL DE CALIDAD

1. ESTRATEGIA GENERAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD

Para verificar la calidad del modelo, los encargados de cada una de las disciplinas involucradas, así como el coordinador BIM, deben realizar una serie de revisiones para garantizar que la información cumpla con estándares, se pueda interpretar de manera adecuada, y se encuentre actualizada. Se utilizará la tabla que se presenta en la siguiente sección para detallar el tipo de revisión, los responsables, el software recomendado y la frecuencia en que se deba hacer estas revisiones.

2. REVISIONES DE CONTROL DE CALIDAD:

Revisión	Descripción	Responsable	Programas/Software	Frecuencia
Visual	Verificar contra planos existentes que los componentes del modelo sean verdaderos a la información utilizada. No deben existir componentes fuera de ubicación o extra.	Gerente BIM Líderes de Coordinación BIM	Revit o cualquier visualizador de modelos .rvt	Semanal
Interferencias	Detectar colisiones tanto leves como graves que se puedan encontrar en el modelo.	Gerente BIM Líderes de Coordinación BIM	Revit o cualquier visualizador de modelos .rvt	Semanal
Cumplimiento de estándares	Asegurar que el modelo e información asociada siga los estándares fijados y el PEB establecido.	Gerente BIM Líderes de Coordinación BIM	Revit o cualquier visualizador de modelos .rvt Documentación contenida dentro del CDE	Semanal

I: NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA

1. SOFTWARE:

USO BIM	DISCIPLINA	SOFTWARE	VERSION
MODELACIÓN AS-BUILD	INFRA	REVIT	VER. 23.0.11.19 (2023)
MODELACIÓN AS-BUILD	ELECT	REVIT	VER. 23.0.11.19 (2023)
MODELACIÓN AS-BUILD	MEP	REVIT	VER. 23.0.11.19 (2023)

2. COMPUTADORAS / HARDWARE:

USO BIM	HARDWARE	DUEÑO DEL HARDWARE	ESPECIFICACIONES
MODELACIÓN AS-BUILD	Razer Blade	Gabriel Valentine Fonseca	Processor: IC-i7-9750H-2.60 GHz OS: Windows 10 Storage: 750 GB Graphics: GTX 1660 Ti VRAM: 6 GB RAM: 16 GB
MODELACIÓN AS-BUILD	Computadora de escritorio	David Andrés Mora Herrera	Processor: AMD Ryzen 5 3600 3.6 HZ OS: Windows 11 Storage: SSD 240 GB Graphics: GTX 1650 Super VRAM: 4 GB RAM: 16 GB

J: ESTRUCTURA DEL MODELO

1. ESTRUCTURA DE NOMBRAMIENTO DE ARCHIVOS

LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS PARA LOS MODELOS DEBEN SEGUIR EL SIGUIENTE FORMATO:	
DISCIPLINA _EDIFICACION. > ##_DESCRIPCIÓN	
MODELO INFRAESTRUCTURA	INFRA_INFRA (Infraestructura) ↳ 0#_Descripción (Ejemplo: 01_PLANOS) ↳ 0#.#_Descripción (Ejemplo: 01.1_INFRAESTRUCTURA) ↳ 0#.#.abc_Descripción (Ejemplo: 01.1.a_PDF)
MODELO SANITARIO	SANIT_INFRA (Infraestructura) ↳ 0#_Descripción (Ejemplo: 01_Planos) ↳ 0#.#_Descripción (Ejemplo: 01.1_DWG) ↳ 0#.#.abc_Descripción (Ejemplo: 01.1.a_Plantas)
MODELO ELÉCTRICO	ELEC_INFRA (Infraestructura) ↳ 0#_Descripción (Ejemplo: 01_Planos) ↳ 0#.#_Descripción (Ejemplo: 01.1_DWG) ↳ 0#.#.abc_Descripción (Ejemplo: 01.1.a_Plantas)
MODELO AGUA POTABLE	POTAB_INFRA (Infraestructura) ↳ 0#_Descripción (Ejemplo: 01_Planos) ↳ 0#.#_Descripción (Ejemplo: 01.1_DWG) ↳ 0#.#.abc_Descripción (Ejemplo: 01.1.a_Plantas)
MODELO PLUVIAL	PLUVIAL_INFRA (Infraestructura) ↳ 0#_Descripción (Ejemplo: 01_Planos) ↳ 0#.#_Descripción (Ejemplo: 01.1_DWG) ↳ 0#.#.abc_Descripción (Ejemplo: 01.1.a_Plantas)

2. ESTRUCTURA DE NOMBRAMIENTO DE ENTIDADES DE LA INFRAESTRUCTURA

LA NOMENCLATURA DE LAS ENTIDADES DEL MODELO DE INFRAESTRUCTURA DEBEN SEGUIR EL SIGUIENTE FORMATO:

Tereno	Nombre	TER_UNIF
Calles	Familia	Slab Floor (predeterminada de Revit)
	Tipo	CL_UNIF_Material_Espesor
Cordones y caños y Bordillos	Familia	Identificador_UNIF_Material
	Tipo	N/A
Vados	Familia	Floor (predeterminada de Revit)
	Tipo	VD_UNIF_Material
Pisos	Familia	Floor (predeterminada de Revit)
	Tipo	PS_UNIF_Identificador_Material_Acabado
Muros	Familia	Basic wall (predeterminada de Revit)
	Tipo	MR_UNIF_Función_Material_Espesor_Altura
Gradas	Familia	Cast in Place Stair (predeterminada de Revit)
	Tipo	GRD_UNIF_Material_Acabado_Contrahuella
Barandas y pasamanos	Familia	Railing (predeterminada de Revit)
	Tipo	RAI_UNIF_Uso_Material_Ubicación
Cerramientos especiales	Familia	Curtain wall (predeterminada de Revit)
	Tipo	CERR_UNIF_Material_Ubicación
Componentes Cargados		
Zona de estacionamientos	Familia	PAR_UNIF_Tipo
	Tipo	Descripción_Material_Acabado
Bancas	Familia	BAN_UNIF_Tipo
	Tipo	Identificador_Material_Acabado

NOTA: ESTE FORMATO PUEDE SER MODIFICADO SI ES NECESARIO

3. ESTRUCTURA DE NOMBRAMIENTO DE ENTIDADES SANITARIAS

LA NOMENCLATURA DE LAS ENTIDADES DEL MODELO DEL SISTEMA SANITARIO DEBEN SEGUIR EL SIGUIENTE FORMATO:

Componentes Cargados		
Tubería sanitaria	Familia	Pipe Types (predeterminada de Revit)
	Tipo	TBS_UNIF_Material_Rgidez Anular_Diámetro
Accesorios de tubería sanitaria	Familia	Pipe fittings (predeterminada de Revit)
	Tipo	CTS_UNIF_Tipo_Material
Pozos de registro sanitarios	Familia	PS_UNIF_Tipo_Material
	Tipo	Identificador_Altura
Cajas de registro sanitarias	Familia	CRS_UNIF_Tipo_Material
	Tipo	Identificador_Altura

3. ESTRUCTURA DE NOMBRAMIENTO DE ENTIDADES AGUA POTABLE

LA NOMENCLATURA DE LAS ENTIDADES DEL MODELO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DEBEN SEGUIR EL SIGUIENTE FORMATO:

Componentes		
Tubería de agua potable	Familia	Pipe Types (predeterminada de Revit)
	Tipo	TAP_UNIF_Material_Diámetro
Accesorios de tubería potable	Familia	Pipe fittings (predeterminada de Revit)
	Tipo	CTP_UNIF_Tipo_Material
Componentes cargados agua potable	Familia	Mechanical equipment (predeterminada de Revit)
	Tipo	CAP_UNIF_Tipo_Material

4. ESTRUCTURA DE NOMBRAMIENTO DE ENTIDADES ELÉCTRICAS

LA NOMENCLATURA DE LAS ENTIDADES DEL MODELO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEBEN SEGUIR EL SIGUIENTE FORMATO:

Componentes		
Luminarias	Familia	LUM_UNIF_Tipo_Forma
	Tipo	Circuito_Wataje_Voltaje

5. ESTRUCTURA DE NOMBRAMIENTO DE ENTIDADES PLUVIALES

LA NOMENCLATURA DE LAS ENTIDADES DEL MODELO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEBEN SEGUIR EL SIGUIENTE FORMATO:

Componentes		
Tubería pluvial	Familia	Pipe Types (predeterminada de Revit)
	Tipo	TBP_UNIF_Material_Rigidez Anular_Diámetro
Accesorios de tubería pluvial	Familia	Pipe fittings (predeterminada de Revit)
	Tipo	CTP_UNIF_Tipo_Material
Pozos de registro pluviales	Familia	PRP_UNIF_Material
	Tipo	Identificador_Altura
Tragantes sencillos pluviales	Familia	TSP_UNIF_Material
	Tipo	Identificador_Altura
Tragantes dobles pluviales	Familia	TDP_UNIF_Material
	Tipo	Identificador_Altura
Cajas de registro pluviales	Familia	CRP_UNIF_Material
	Tipo	Identificador_Altura
	Familia	CPL_UNIF_Tipo

Canales pluviales	Tipo	Material_Largo
Cabezales pluviales de desfogue	Familia	CBPD_UNIF_Material
	Tipo	Zona_Altura

6. ESTRUCTURA DE MODELO:

En esta sección se describe de manera general mediante un cuadro los distintos componentes que integran cada modelo.

MODELO	CONTENIDO	NOTAS
Modelo Infraestructura	Terreno, calles, cordones y caños, aceras, muros, pisos, gradas, zona de estacionamientos e infraestructura complementaria	
Modelo sistema pluvial	Tuberías, cabezales, cajas de registro, pozos de registro, tragantes y canales pluviales.	
Modelo sistema eléctrico	Luminarias, tablero y sus respectivos circuitos.	No se incluye canalización eléctrica
Modelo sistema sanitario	Tuberías, cajas y pozos de registro sanitarias.	
Modelo sistema agua potable	Hidrantes, válvulas y juntas de unión para el sistema de agua potable.	

7. SISTEMAS DE MEDIDA Y COORDENADAS:

UNIDADES QUE SE UTILIZARÁN PARA EL DESARROLLO DE LOS MODELOS BIM	COORDENADAS QUE SE UTILIZARÁN PARA TODOS LOS MODELOS BIM
Se utilizarán unidades métricas con tres decimales de precisión.	Se define la coordenada (N 1098799.41, E 495101.72) del sistema coordinado CRTM05 como la esquina noroeste de la columna ubicada sobre los ejes A y 1 de los planos constructivos del edificio de Aulas, a un nivel de 1230.25 m.

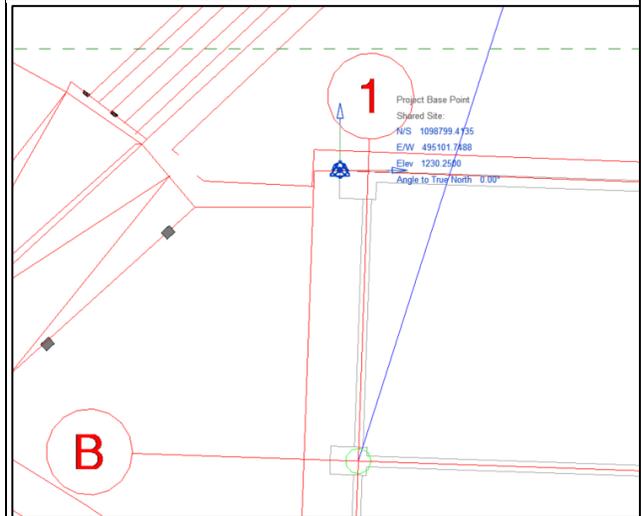
Project Units ✕

Discipline: Common

Units	Format
Length	1234.57 [m]
Area	1235 m ²
Volume	1234.57 m ³
Angle	12.35°
Slope	12.35°
Currency	1234.57
Mass Density	1234.57 kg/m ³

Decimal symbol/digit grouping:
123,456,789.00

OK
Cancel
Help



K: ENTREGABLES DEL PROYECTO

ITEM ENTREGABLE BIM	ETAPA	FECHA DE VENCIMIENTO APROX.	FORMATO	NOTAS
Modelo Infraestructura	Planificación	30/6/22	.rvt	
Modelo sistema pluvial	Planificación	30/6/22	.rvt	
Modelo sistema eléctrico	Planificación	30/6/22	.rvt	
Modelo sistema sanitario	Planificación	30/6/22	.rvt	
Modelo sistema agua potable	Planificación	30/6/22	.rvt	