

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM PARA MEJORAR LA
INGENIERÍA DE DETALLE DEL ALIMENTADOR DE MEDIA
TENSIÓN PARA EL COMPLEJO DEPORTIVO DEL DISTRITO
DE ESPINAR, CUSCO.

PRESENTADO POR:

Br. JUAN RAUL CAHUANA CASAS

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRICISTA

ASESOR:

Dr. WILBERT JULIO LOAIZA CUBA.

CUSCO – PERÚ
2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor WILBERT JULIO LOAIZA CUBA.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: "APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM
PARA MEJORAR LA INGENIERÍA DE DETALLE DEL ALIMENTADOR DE
MEDIA TENSIÓN PARA EL COMPLEJO DEPORTIVO DEL DISTRITO
DE ESPINAR, CUSCO".....

Presentado por: JUAN RAUL CAHUANA CASAS..... DNI N° 42324097 ;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO ELECTRICISTA.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2..... veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 17 de AGOSTO..... de 20.26.....



Firma

Post firma WILBERT JULIO LOAIZA CUBA.....

Nro. de DNI 23829491.....

ORCID del Asesor 0000-0003-3901-3178.....

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259.614903522.....

JUAN RAUL CAHUANA CASAS

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM PARA MEJORAR LA INGENIERÍA DE DETALLE DEL ALIMENTADOR DE MEDIA TEN...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:614903522

Fecha de entrega

17 ago 2026, 7:37 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

17 ago 2026, 7:44 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

VOLUMEN DE TESIS FINAL (17-08-2026)- Juan Raul.pdf

Tamaño del archivo

7.7 MB

159 páginas

30.346 palabras

170.314 caracteres

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis, representa no solo el cierre de una etapa académica, sino también el reflejo del esfuerzo colectivo de quienes me han acompañado en este camino.

A mis docentes, por compartir su conocimiento con vocación y exigencia, y por sembrar en mí el interés por la ingeniería como herramienta de transformación social.

A mi familia, por su apoyo incondicional, por creer en mí en cada paso, y por brindarme la fortaleza emocional necesaria para culminar este proceso.

A mis compañeros y amigos, por las discusiones enriquecedoras, el compañerismo genuino y por estar presentes en los momentos de mayor desafío.

Finalmente, a la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica, por brindarme las herramientas académicas y humanas que hoy me permiten aspirar al título de Ingeniero Electricista.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, por su amor silencioso y su ejemplo de perseverancia.

A quienes me enseñaron que el conocimiento no solo se construye en aulas, sino también en la vida cotidiana, en la observación crítica y en el compromiso con el entorno.

Y a mí mismo, por haber enfrentado cada reto con convicción, por haber aprendido de cada error y por haber mantenido viva la pasión por la ingeniería como camino de servicio.

Juan Raúl Cahuana Casas

INTRODUCCIÓN

En el Perú, los proyectos de infraestructura eléctrica de media tensión se han desarrollado tradicionalmente con planos en 2D. Si bien esta forma de trabajo ha sido la más empleada durante décadas, presenta ciertas limitaciones que terminan afectando la calidad de las obras, su eficiencia y las condiciones de seguridad durante la construcción. Entre los problemas más comunes se encuentran la falta de una visión completa del proyecto, la escasa coordinación entre las distintas especialidades y la dificultad para prever conflictos de espacio, situaciones que suelen traducirse en mayores costos, demoras y pérdida de productividad.

El presente estudio toma como caso el Complejo Deportivo del Distrito de Espinar, un proyecto público cuyo alimentador de media tensión fue diseñado inicialmente con métodos bidimensionales. Al revisar esa propuesta original se observó que carecía de la precisión y coordinación necesarias, lo que ponía en riesgo su correcta ejecución.

Frente a esta situación, se planteó aplicar la metodología BIM para mejorar la ingeniería de detalle del proyecto. BIM permite construir un modelo digital donde se integra toda la información del sistema eléctrico, facilitando su visualización, la colaboración entre especialistas y un manejo más preciso de los datos. Con su implementación se busca demostrar que es posible superar las limitaciones del diseño en 2D, logrando mejoras en la precisión del diseño, en la estimación de costos y metrados, y en la planificación de los plazos de ejecución.

Más allá de ofrecer una solución concreta para el proyecto de Espinar, este trabajo pretende mostrar la conveniencia de adoptar BIM como práctica habitual en el desarrollo de proyectos eléctricos, contribuyendo así a elevar los estándares técnicos en el sector.

RESUMEN

Este estudio tuvo como propósito aplicar la metodología BIM para mejorar la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del Distrito de Espinar, en Cusco. El punto de partida fue reconocer las limitaciones que presenta el diseño tradicional con planos 2D, entre ellas la escasa visualización del conjunto, la poca integración entre especialidades, la dificultad para detectar interferencias y las imprecisiones en el cálculo de costos y plazos.

Como alternativa, se propuso implementar BIM, metodología que permite construir un modelo tridimensional donde se reúne la información geométrica, técnica y de gestión del proyecto. La investigación se organizó en tres partes: primero se identificaron las falencias del diseño original en 2D; luego se aplicó BIM para mejorar la precisión y coordinación del alimentador; finalmente se evaluó su impacto en la estimación de costos, metrados y cronograma, comparándolo con el enfoque tradicional. Los resultados obtenidos muestran que el uso de BIM mejora notablemente la calidad de la ingeniería de detalle, disminuye los errores de diseño, facilita la coordinación entre especialistas, aumenta la precisión de los metrados y permite un mejor control del presupuesto y los plazos de obra.

Además de confirmar los beneficios de BIM en el proyecto de Espinar, el trabajo plantea un modelo que puede replicarse en otros proyectos eléctricos de la región, aportando al desarrollo tecnológico y a una gestión más eficiente de las obras, tanto públicas como privadas.

Palabras Clave: Metodología BIM, Ingeniería de detalle, Redes de distribución eléctrica, Revit.

ABSTRACT

This study aimed to apply the Building Information Modeling (BIM) methodology to improve the detailed engineering design of the medium-voltage feeder for the Sports Complex in the District of Espinar, Cusco. The starting point was the identification of the limitations associated with traditional design based on 2D drawings, including limited visualization of the overall project, poor integration among disciplines, difficulties in detecting interferences, and inaccuracies in cost and schedule estimation.

As an alternative, the implementation of BIM was proposed, a methodology that enables the development of a three-dimensional model integrating the geometric, technical, and project management information. The research was organized into three stages: first, the shortcomings of the original 2D design were identified; second, BIM was applied to improve the accuracy and coordination of the medium-voltage feeder; and finally, its impact on cost estimation, quantity takeoffs, and project scheduling was evaluated and compared with the traditional approach. The results obtained show that the use of BIM significantly improves the quality of detailed engineering, reduces design errors, facilitates coordination among specialists, increases the accuracy of quantity takeoffs, and enables better control of the project budget and schedule.

In addition to confirming the benefits of BIM in the Espinar project, this study proposes a model that can be replicated in other electrical projects in the region, contributing to technological development and more efficient management of both public and private works.

Keywords: BIM methodology, Detailed engineering, Electrical distribution networks, Revit.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	16
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	17
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	18
1.1. Ubicación Geográfica	18
1.2. Situación Problemática	19
1.2.1. Planteamiento del Problema	19
1.2.2. Formulación del Problema	22
1.3. Objetivos	23
1.3.1. Objetivo General	23
1.3.2. Objetivos Específicos	23
1.4. Hipótesis	23
1.4.1. Hipótesis General	23
1.4.2. Hipótesis Específicas	23
1.5. Justificación Del Trabajo	24
1.6. Variables E Indicadores	25
1.6.1. Variable Independiente: Aplicación de la metodología BIM.	25
1.6.2. Variables Dependiente: Mejora en la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión	25
1.6.3. Matriz de Operacionalización de Variables.	26
1.7. Alcances Del Trabajo	27
1.8. Limitaciones Del Trabajo	27
1.9. Metodología	28
1.9.1. Tipo de Investigación.	28
1.9.2. Diseño de la investigación	28
1.9.3. Nivel de Estudio	28
1.9.4. Enfoque del Estudio	29
1.9.5. Población y Muestra	29
1.9.6. Técnicas de Recolección de Datos	29

1.9.7. Procesamiento de Datos	30
1.9.8. Técnicas de análisis	30
1.10. Matriz De Consistencia	30
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	32
2.1. Bases Teóricas	32
2.1.1. Metodología BIM	32
2.1.2. ¿Concepto y Funcionamiento de BIM?	32
2.1.3. Definición de BIM (Según ISO 19650)	35
2.1.4. Componentes clave del BIM	36
2.1.5. Roles BIM	37
2.1.6. Aplicación de BIM a sistemas eléctricos de media tensión.	39
2.1.7. Las ventajas del BIM	42
2.1.8. BIM y sus Dimensiones	43
2.1.9. Diferencias CAD vs BIM	46
2.1.10. Sistema de Utilización en M.T.	48
2.1.11. Concesionario de Distribución de Energía Eléctrica	48
2.1.12. Punto de Diseño	48
2.1.13. Suministro Eléctrico	49
2.1.14. Conexiones de Media Tensión	49
2.1.15. Cables aéreos Tipo AAAC	49
2.1.16. Cables Unipolares de M.T. para Redes Subterráneas	49
2.1.17. Subestación Eléctrica de Media Tensión	49
2.1.18. Transformador de Media Tensión	50
2.1.19. Sistema de Puesta a Tierra	50
2.2. Marco Normativo	50
2.2.1. Normativas Internacionales	50
2.2.2. Normativas Peruanas	51
2.3. Estado del Arte: aplicación de la metodología BIM en proyectos de ingeniería eléctrica	54
2.3.1. Análisis del Trabajo: Rodríguez Cristóbal C. J. (2024) – UNCP	55
2.3.2. Análisis del Trabajo: Castro-Sanjuan & Cuervo-Giraldo, (2021) – Este estudio fue publicado originalmente en la revista científica Energies (MDPI) en el año 2021	64
2.3.3. Conclusión del Estado del Arte	74
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LAS LIMITACIONES DEL DISEÑO 2D EN EL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN DEL COMPLEJO DEPORTIVO DE ESPINAR	75
3.1. Introducción	75
3.2. Limitaciones del diseño 2D en la precisión del proyecto	76

3.2.1. Deficiencias en la precisión de componentes complejos. _____	76
3.2.2. Omisión de insumos menores (pernos, tuercas, arandelas) en planos 2D. _____	78
3.2.3. Imprecisiones en el detalle de instalación de cables subterráneos _____	80
3.2.4. Discrepancias en las longitudes de componentes _____	81
3.3. Limitaciones del diseño 2D en la detección de interferencias con el entorno y distancias de seguridad _____	83
3.3.1. Interferencias en el Punto de Derivación _____	83
3.3.2. Interferencias no detectadas con viviendas y edificaciones _____	84
3.3.3. Limitaciones en redes aéreas (distancias de seguridad) _____	86
3.3.4. Interferencias en redes subterráneas _____	87
3.3.5. Interferencias en la disposición interna de la subestación _____	90
3.4. Limitaciones del diseño 2D en la precisión de metrados y presupuesto _____	92
3.5. Conclusión Del Capítulo _____	101

CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGÍA BIM PARA EL DISEÑO DEL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN DEL COMPLEJO DEPORTIVO DE ESPINAR _____ 102

4.1. Introducción _____	102
4.2. Estrategia De Implementación BIM Para Proyectos De Media Tensión _____	103
4.2.1. Planificación de la implementación _____	103
4.2.2. Selección de herramientas y software BIM _____	105
4.2.3. Definición de estándares y protocolos de trabajo colaborativo _____	107
4.3. Modelado Tridimensional De Los Componentes Del Sistema Eléctrico _____	108
4.3.1. Estructuras de Soporte y Cimentaciones _____	108
4.3.2. Armados Eléctricos Especializados _____	111
4.3.3. Componentes de Aislamiento y Protección _____	120
4.3.4. Transformador de medición _____	123
4.3.5. Sistema de Puesta a Tierra _____	124
4.3.6. Red de Distribución Subterránea _____	125
4.3.7. Subestación de Distribución _____	128
4.4. Modelado Del Contexto Urbano Y Topográfico _____	131
4.5. Integración Multidisciplinaria En El Modelo BIM _____	133
4.5.1. Coordinación entre el personal _____	133
4.5.2. Estructura organizacional del equipo BIM _____	133
4.5.3. Colaboración en tiempo real y control de versiones _____	136
4.6. Detección Automática De Conflictos Espaciales _____	137
4.7. Resultados De La Implementación BIM _____	141
4.7.1. Complejidad del modelado BIM desarrollado _____	141
4.7.2. Niveles de Desarrollo (LOD) implementados _____	142

4.8. Análisis De Beneficios De La Metodología BIM	143
4.8.1. Mejoras en la visualización y comprensión del proyecto	143
4.8.2. Reducción de errores de coordinación	147
4.8.3. Incremento en la precisión de especificaciones	147
4.9. Conclusión Del Capítulo	148
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE BIM EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS Y METRADOS	149
5.1. Introducción	149
5.2. Metodología De Evaluación Comparativa	149
5.3. Extracción Automática de Metrados desde el Modelo BIM	150
5.4. Precisión De Metrados Alcanzada	151
5.5. Presupuesto total BIM	152
5.6. Análisis Comparativo De Costos	156
5.6.1. Sobrecostos Evitados mediante BIM	156
5.6.2. Componentes No Contemplados	157
5.6.3. Modificación de Piezas por errores dimensionales	158
5.6.4. Horas Hombre Adicionales	159
5.6.5. Correcciones por Conflictos Espaciales	160
5.7. Optimización De Metrados	161
5.7.1. Precisión en Extracción de Cantidades	161
5.7.2. Metrados de Materiales Auxiliares y Ferretería	163
5.7.3. Análisis de Precisión por Categorías de Materiales	164
5.8. Conclusiones Del Capítulo	165
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	166
BIBLIOGRAFÍA	169
ANEXOS	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica del complejo deportivo del distrito de Espinar _____	18
Figura 2 Plano del sistema de utilización en MT complejo deportivo de espinar _____	20
Figura 3 Plano detalle de la subestación tipo caseta complejo deportivo de Espinar _____	21
Figura 4 Ciclo de vida del proyecto según BIM _____	33
Figura 5 Las siete dimensiones de la Metodología BIM: desde el concepto (1D) hasta el mantenimiento (7D) _____	43
Figura 6 Obtención de nube de puntos en RECAP _____	56
Figura 7 Diseño electromecánico existente alámbrico en Revit _____	57
Figura 8 Recorrido virtual 4D redes de distribución _____	58
Figura 9 Información almacenada en la plataforma BIM 360 (CDE) _____	58
Figura 10 Flujo BIM Detallado – (Rodríguez Cristóbal, 2024) (Enfoque Técnico Optimizado) _____	60
Figura 11 Línea del tiempo marco normativo (2018-2021) _____	62
Figura 12 Presupuesto del proyecto en función al modelado IFC _____	64
Figura 13 Interfaz de Revit MEP mostrando el modelado de un poste de media tensión ____	66
Figura 14 Interfaz de Revit MEP mostrando el modelado de una subestación de 500kVA _	66
Figura 15 Interfaz de Navisworks Manage mostrando la detección de una interferencia reglamentaria (Clash Detective) _____	67
Figura 16 Vista de tableta en Autodesk Construction Cloud (ACC) utilizada en campo. ____	68
Figura 17 Diagrama de flujo para (Sanjuan y Giraldo, 2021). _____	70
Figura 18 <i>Armado ATBV1 en configuración vertical para cables de media tensión, con el cumplimiento de distancias de seguridad</i> _____	77
Figura 19 <i>Plano 2D del armado ATBV5 (fin de línea) en vista frontal y de planta, con elementos de fijación menores</i> _____	79
Figura 20 <i>Detalle 2D de instalación de cables de MT enterrado, sin especificaciones precisas de dimensiones y materiales</i> _____	81
Figura 21 <i>Vista frontal del armado de retenida aislada vertical en Y, con especificación ambigua del apoyo abrazadera para contrapunta</i> _____	82

Figura 22	<i>Plano 2D del Punto de Derivación en el armado existente AT1, donde no es posible verificar el espacio disponible para la nueva conexión</i>	84
Figura 23	<i>Plano 2D del trazado del alimentador, donde no es posible verificar las distancias de seguridad con el Centro de Salud y viviendas aledañas</i>	85
Figura 24	<i>Perfil longitudinal de la red primaria en 2D, donde no es posible verificar claramente las distancias mínimas de seguridad vertical al suelo</i>	86
Figura 25	<i>Plano 2D de la red subterránea y subestación, donde no es posible verificar la disposición de los ductos ni la accesibilidad a la subestación</i>	88
Figura 26	<i>Plano 2D en planta de la subestación, donde no es posible verificar interferencias en la disposición interna de los equipos</i>	91
Figura 27	Esquema conceptual de los cinco componentes del Plan de Ejecución BIM (BEP): objetivos, LOD, roles, cronograma y entrega de información	104
Figura 28	Propiedades paramétricas del poste de concreto armado 15/400/180/405 en Autodesk Revit, mostrando parámetros dimensionables (altura, diámetros, profundidad)	106
Figura 29	Propiedades paramétricas del poste de concreto armado 15/400/180/405 en Autodesk Revit, mostrando los parámetros dimensionables (altura, diámetros, profundidad)	
	Modelado 3D del Poste de Concreto Armado 15/400 en Revit	109
Figura 30	Propiedades paramétricas del Sistema de Retenida Vertical Tipo Y en Autodesk Revit, mostrando parámetros de elevación y cotas de instalación	110
Figura 31	Armado de Derivación Vano Flojo en configuración trifásica, mostrando crucetas, aisladores poliméricos de suspensión, conductores y herrajes de sujeción flexible	112
Figura 32	Armado de Seccionamiento en configuración trifásica, mostrando seccionadores, aisladores poliméricos de suspensión, crucetas, herrajes y los espacios de maniobra para operación manual	113
Figura 33	Armado ATBV1 (Armado de Alineamiento) en Autodesk Revit: vista previa del modelo 3D y ventana "Type Properties" con metadatos para extracción de metrados y presupuestos (BIM 5D)	114
Figura 34	Armado ATBV3 (Armado de Anclaje) en configuración trifásica, mostrando aisladores de porcelana tipo PIN, aisladores poliméricos de suspensión (650 mm, 36 kV), crucetas, riostras, grapas de anclaje y herrajes de sujeción	116
Figura 35	Armado ATBV5 (Fin de Línea) en configuración trifásica, mostrando aisladores poliméricos de suspensión (650 mm, 36 kV), crucetas, herrajes, sistema de descarga a tierra y conexión para transición a cable subterráneo	118

Figura 36 Armado trifásico existente (AT1) en configuración de alineamiento, modelado en 3D como punto de derivación y coordinación para la nueva red de media tensión (22.9 kV) del Complejo Deportivo de Espinar	119
Figura 37 Aislador PIN ANSI 56-4, modelado en 3D (Revit), utilizado en los armados ATBV1, ATBV3 y ATBV4 para sujeción directa de conductores en líneas aéreas de media tensión	120
Figura 38 Aislador Polimérico Tipo Suspensión (650 mm, 36 kV), modelado en 3D (Revit), utilizado en los armados ATBV3, ATBV4 y ATBV5 para suspensión de conductores	121
Figura 39 Seccionadores trifásicos de media tensión modelados en 3D (Revit), mostrando los tres cuerpos seccionadores, aisladores poliméricos de soporte, bases de fijación y espacios de maniobra para operación manual	122
Figura 40 Pararrayos de 21 kV (óxido metálico) modelados en 3D (Revit), mostrando los tres pararrayos (uno por fase), aisladores poliméricos, conectores de tierra y posicionamiento estratégico en la red de media tensión	123
Figura 41 Transformador de Medición Trafomix Integrado modelado en 3D (Revit), mostrando el cuerpo del transformador, bornes de conexión, aisladores y espacios para mantenimiento	124
Figura 42 Modelado BIM del Sistema de Puesta a Tierra PAT-1 en 3D, mostrando electrodos (jabalinas), conductor de bajada, caja de registro para medición, conexiones a tierra de equipos y disposición espacial completa del sistema	125
Figura 43 Sistema de Red de Distribución Subterránea en 3D (Revit), mostrando el punto de transición aéreo-subterráneo (armado ATBV5), buzones de media tensión (BZ-3, BZ-4, BZ-5), ductos de PVC, cables N2XSY 50 mm ² (18/30 kV), canalizaciones y conexión a la subestación tipo caseta	126
Figura 44 Detalle de buzón de media tensión (BZ) en el sistema de red subterránea, mostrando dimensiones internas, tapa de acceso, escalones de seguridad, sistema de drenaje y canalizaciones de entrada/salida para cables N2XSY	127
Figura 45 Modelo 3D interior de caseta mostrando disposición de equipos, distancias de seguridad, accesibilidad para mantenimiento y coordinación espacial	129
Figura 46 Subestación Tipo Caseta - Vista Exterior, mostrando la estructura prefabricada de concreto, dimensiones generales, puerta de acceso, rejillas de ventilación, sistema de drenaje, y el entorno urbano circundante	130
Figura 47 Modelo BIM del Contexto Urbano y Topográfico en 3D (Revit), mostrando el Complejo Deportivo (estadio, graderías, campo de juego), el Centro de Salud de Yauri, las	

calles aledañas (Jr. Cusco, Calle Ladislao), el trazado del alimentador de media tensión (aéreo y subterráneo), postes, armados y la subestación tipo caseta integrada en el entorno	132
Figura 48 Flujo de coordinación BIM, mostrando la estructura organizacional del equipo BIM (Coordinador, Especialista en Armados, Especialista en Ferretería, Asistente BIM) y su integración hacia un Modelo BIM Unificado con datos centralizados y detección automática de conflictos	134
Figura 49 Verificación de distancias mínimas de seguridad en el modelo BIM, mostrando la medición de alturas de conductores respecto al suelo	135
Figura 50 Interferencia detectada por Navisworks entre conductor (ID: 1751729) y Elemento estructural (ID: 253145), evidenciando la capacidad del clash detection para identificar fallas espaciales	138
Figura 51 Conflicto 2, mostrando la interferencia entre tubería ID 1743309 y cable ID 253145	139
Figura 52 Conflicto 3 destacando la interferencia entre tubería ID 1771335 y elementos de puesta a tierra	140
Figura 53 Vista Panorámica del Complejo Deportivo y su entorno en el modelo BIM, mostrando el estadio con graderías y campo de juego, el Centro de Salud de Yauri, las calles aledañas (Jr. Cusco, Calle Ladislao), y la integración del alimentador de media tensión	144
Figura 54 Vista del trazado aéreo del alimentador de media tensión en el modelo BIM, mostrando la disposición de postes, conductores AAAC 35 mm ² , aisladores de porcelana y poliméricos, y su integración con el entorno urbano	145
Figura 55 Vista del modelo BIM de la subestación de media tensión tipo caseta, mostrando la estructura exterior de concreto, acometida subterránea (ductos PVC con cables N2XS), pozos de puesta a tierra PAT-1	146
Figura 56 Extracción automática de metrados desde el modelo BIM en Autodesk Revit	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de Variables	26
Tabla 2 <i>Ventajas CAD vs BIM</i>	42
Tabla 3 <i>Comparación detallada entre CAD y BIM para proyectos</i>	48
Tabla 4 <i>Presupuesto 2D con identificación de omisiones y subestimaciones</i>	93
Tabla 5 <i>Presupuesto total del complejo deportivo Espinar</i>	98
Tabla 6 <i>Componentes no contemplados en el diseño 2D</i>	99
Tabla 7 <i>Discrepancias dimensionales identificadas</i>	99
Tabla 8 <i>Imprecisiones en el detalle de instalación de cables subterráneos</i>	100
Tabla 9 <i>Impacto económico</i>	100
Tabla 10 <i>Componentes Clave del Plan de Ejecución BIM</i>	105
Tabla 11 <i>Comparación de precisión de metrados</i>	152
Tabla 12 <i>Presupuesto BIM de materiales</i>	153
Tabla 13 <i>Sobrecostos Evitados con Metodología BIM</i>	156
Tabla 14 <i>Componentes no contemplados en el diseño 2D</i>	158
Tabla 15 <i>Modificación de piezas por errores dimensionales</i>	159
Tabla 16 <i>Horas hombre adicionales evitadas</i>	160
Tabla 17 <i>Costos por interferencias no detectadas</i>	161
Tabla 18 <i>Comparación de Precisión en Metrados - Elementos Principales</i>	162
Tabla 19 <i>Metrados de Materiales Auxiliares</i>	163
Tabla 20 <i>Precisión por Categorías de Materiales</i>	164

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

BIM	Building Information Modeling
SUMT	Sistema de Utilización en Media Tensión
3D	Representación geométrica del proyecto
4D	Adición del factor tiempo (cronograma)
5D	Integración de costos para planificación y control
ELSE	Electro Sur Este
MT	Media Tensión
CNE	Código Nacional de Electricidad
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
SE	Subestación de Distribución
PMS	Puesto de Medición Subterránea
PMI	Puesto de Medición a la Intemperie
V	Voltio
I	Corriente
CAD	Diseño Asistido por Computadora
PDU	Punto de Distribución de energía
LINKING	Proceso de vincular modelos externos a un archivo de Revit
WORKSHARING	Funcionalidad en Revit que permite la colaboración
TAGS	Asignaciones automáticas asociadas a elementos del modelo
Revit API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
LOD	Level of Development: Nivel de detalle
VDC	Diseño y Construcción Virtual
CDE	Entorno Común de Datos

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Ubicación Geográfica

Este estudio se centra en el Complejo Deportivo del Distrito de Espinar, ubicado en la provincia de Espinar, dentro de la región de Cusco, Perú. El área de estudio abarca la implementación y el mejoramiento del alimentador de media tensión, diseñado para satisfacer las cargas eléctricas del complejo deportivo. El sistema se integra a las redes de distribución eléctrica existentes, considerando tanto la infraestructura principal como las ramificaciones necesarias para asegurar una operación eficiente y segura en toda la instalación.

Figura 1

Ubicación geográfica del complejo deportivo del distrito de Espinar



Fuente. Imagen satelital Google Earth, 2024.

1.2. Situación Problemática

1.2.1. Planteamiento del Problema

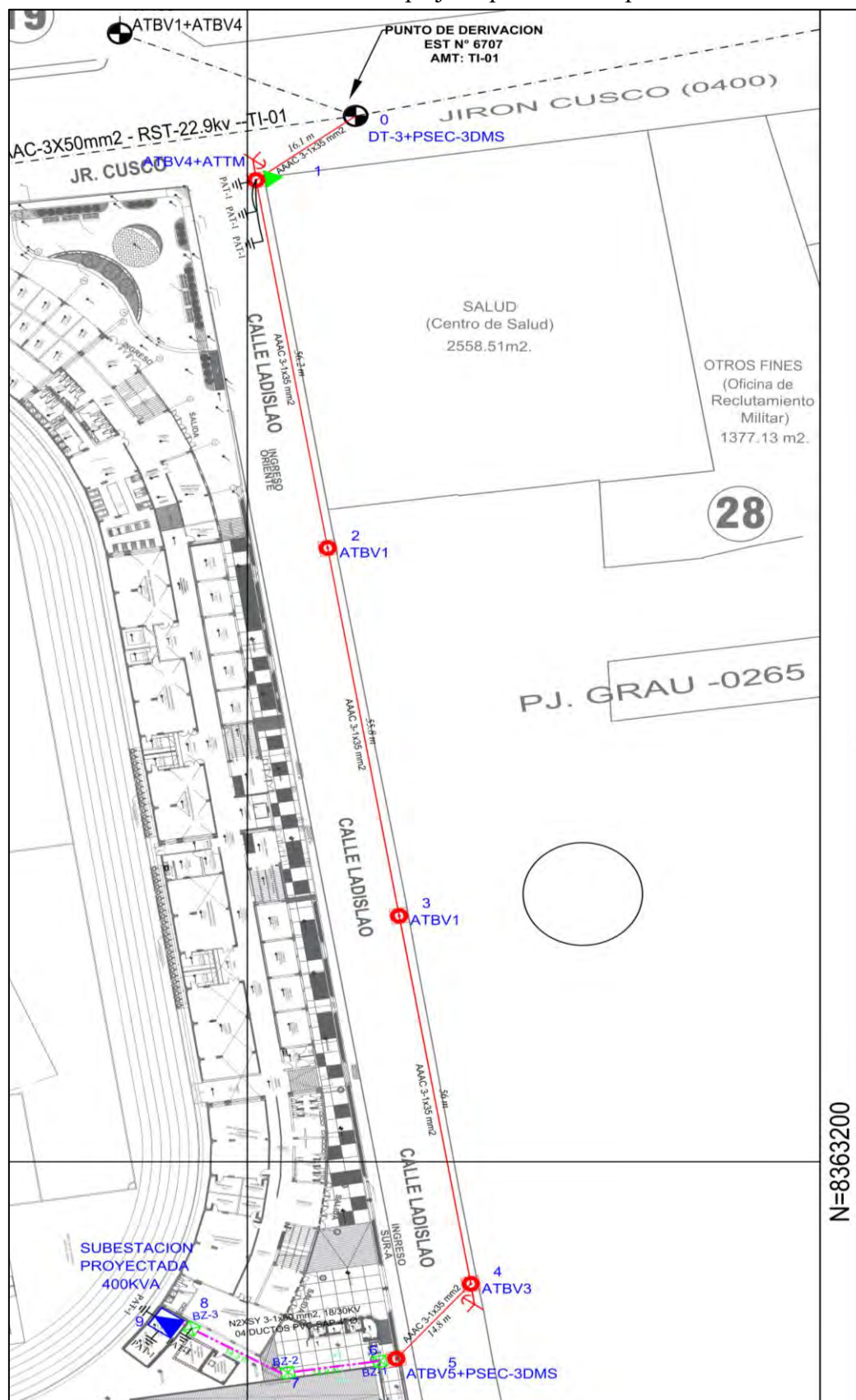
En el Perú, muchos proyectos eléctricos de media tensión aún se desarrollan utilizando herramientas tradicionales de diseño en 2D, como AutoCAD. Este tipo de metodología presenta limitaciones importantes, ya que solo permite visualizar el proyecto de manera plana, dificultando la comprensión real de cómo se ubican y relacionan los componentes en el espacio. Como consecuencia, se generan problemas como errores en el diseño (ubicación de equipos en lugares donde no hay espacio suficiente o no considerar interferencias entre componentes), falta de precisión en las dimensiones (medidas incorrectas en la altura del postes o distancias entre equipos), deficiencias en la planificación (como no considerar todas las actividades necesarias antes de la construcción) y una baja coordinación entre las especialidades involucradas (cuando existen planos duplicados o versiones distintas trabajadas por diferentes áreas), lo que finalmente produce retrasos, sobrecostos y riesgos durante la ejecución de las obras.

En diversas naciones, tales como Estados Unidos, Chile y el Reino Unido, estas dificultades han sido reducidas mediante la implementación de la metodología BIM, la cual permite trabajar con modelos tridimensionales integrados. Esto mejora la visualización del proyecto, facilita la coordinación entre disciplinas y optimiza tanto los costos como los tiempos de ejecución.

En el caso del Complejo Deportivo del distrito de Espinar el diseño del alimentador de media tensión no es ajeno a esta problemática, ya que fue elaborado utilizando planos en 2D. Este enfoque limita la capacidad de identificar errores antes de la construcción, especialmente en lo relacionado con la ubicación de equipos, compatibilidad entre componentes y validación de requerimientos técnicos.

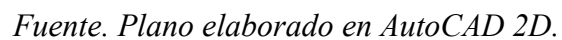
Figura 2

Plano del sistema de utilización en MT complejo deportivo de espinar



Fuente. Plano elaborado en AutoCAD 2D.

Plano detalle de la subestación tipo caseta complejo deportivo de Espinar



Estas limitaciones generan dificultades para anticipar interferencias entre elementos y pueden ocasionar errores que recién se detectan durante la construcción. Además, la falta de coordinación entre profesionales provoca que cada uno trabaje de manera independiente, lo que genera inconsistencias en la información, duplicación de trabajo y problemas de coordinación.

Como resultado, se incrementan los costos del proyecto debido a modificaciones en obra, adquisición de materiales no contemplados y retrabajos. Asimismo, se produce un aumento en el tiempo de ejecución, afectando el cumplimiento del cronograma y la eficiencia general del proyecto.

En este contexto, surge la necesidad de implementar la metodología BIM para mejorar la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión, mediante un modelo digital que facilite la visualización, coordinación y optimización del diseño, reduciendo así los errores, costos y tiempos de ejecución.

1.2.2. Formulación del Problema

1.2.2.1. Problema General

¿Cómo mejorar la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del distrito de Espinar?

1.2.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Cómo afectan las limitaciones del diseño en 2D a la precisión del proyecto del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del distrito de Espinar?
2. ¿De qué manera el diseño tradicional en 2D limita la detección de interferencias con viviendas y elementos del entorno, así como el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad?

3. ¿En qué medida las inexactitudes de los metrados obtenidos a partir del diseño en 2D afectan la precisión de los metrados y la estimación presupuestal del proyecto?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Aplicar la metodología BIM para mejorar la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del distrito de Espinar.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Analizar las limitaciones del diseño en 2D en la precisión del proyecto del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del distrito de Espinar.
2. Implementar un modelo BIM 3D para mejorar la detección de interferencias y la verificación de distancias de seguridad.
3. Obtener metrados automatizados mediante BIM para mejorar la precisión de los metrados y del presupuesto del proyecto.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Aplicando la metodología BIM se mejora la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión, al permitir una mejor visualización, detección de interferencias, precisión en metrados y optimización de costos y tiempos en comparación con el diseño tradicional en 2D.

1.4.2. Hipótesis Específicas

1. Con el uso del software Revit, se mejorará la precisión del proyecto y reducirá errores del diseño en comparación con planos en 2D.

2. La aplicación de BIM permite detectar interferencias y verificar el cumplimiento de distancias mínimas de seguridad mediante herramientas como Navisworks.
3. La extracción automatizada de metrados mediante BIM mejora la precisión presupuestal y reduce errores en comparación con el método tradicional.

1.5. Justificación Del Trabajo

El proyecto del alimentador de media tensión para el Complejo Deportivo de Espinar enfrenta dificultades que podrían evitarse con herramientas de diseño más precisas. Contar con una infraestructura deportiva bien planificada no solo responde a una necesidad técnica, sino que también aporta al bienestar de la comunidad y al desarrollo de la región.

La metodología BIM posibilita un enfoque de trabajo más integral e integrado. A través de esta, se puede desarrollar un modelo virtual tridimensional que no solo representa la geometría de los elementos, sino también información útil para planificar los tiempos de ejecución (fase 4D) y controlar los costos (fase 5D).

Al reunir todos los datos en un solo lugar, se pueden identificar errores antes de que ocurran, coordinar mejor a los especialistas involucrados y lograr un diseño de mayor calidad. En el caso concreto del alimentador de media tensión, aplicar BIM ayudará a superar las limitaciones que tiene el diseño con planos en 2D.

Se espera mejorar la precisión del trazado, asegurar que todos los componentes encajen correctamente, calcular con más exactitud los costos y materiales necesarios, y reducir los riesgos de sobrecostos o demoras durante la construcción.

Además de resolver los problemas del proyecto actual, este estudio busca servir de ejemplo para futuras obras en la región. La idea es mostrar cómo se trabajó, qué se aprendió y de qué manera esos aprendizajes pueden aplicarse en otros proyectos, contribuyendo así a un desarrollo más ordenado y sostenible en el distrito de Espinar.

1.6. Variables E Indicadores

1.6.1. Variable Independiente: Aplicación de la metodología BIM.

Definición Conceptual: Uso de la metodología BIM para modelar y planificar la ingeniería de detalle, integrando componentes multidisciplinarios en un entorno digital tridimensional.

Indicadores:

- A.** % de componentes eléctricos modelados en BIM (cables, postes, herrajes, retenidas, etc.).
- B.** Número de incompatibilidades detectadas automáticamente en el modelo.
- C.** % de reducción de interferencias respecto al diseño 2D.

Unidades: Porcentaje (%), cantidad (número absoluto).

1.6.2. Variables Dependiente: Mejora en la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión

Definición Conceptual: mejoramiento del diseño de detalle de sistemas de media tensión mediante el uso de BIM, que incluye mejoras en la precisión, reducción de errores, integración entre especialidades, y cumplimiento eficiente del cronograma y presupuesto.

Indicadores:

- A.** Precisión de metrados: % de error en metrados (comparación 2D vs BIM).
- B.** Reducción de costos directos: monto en soles (S/) y porcentaje (%) de ahorro.
- C.** Número de errores de diseño evitados (omisiones de insumos, incompatibilidades).

Unidades: Porcentaje (%), soles (S/), días, número absoluto.

1.6.3. Matriz de Operacionalización de Variables.

Tabla 1

Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de Medición
Variable Independiente: <i>Aplicación de la metodología BIM</i>	Uso de BIM para modelar, planificar y gestionar la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión en un entorno digital tridimensional.	1. Completitud del Modelo 2. Inteligencia del Proceso 3. Coordinación y Detección	• % de componentes eléctricos modelados en BIM (cables, postes, herrajes, retenidas, etc.). • Número de incompatibilidades detectadas automáticamente en el modelo. • % de reducción de interferencias respecto al diseño 2D.	• Revisión del Modelo BIM (Software: Revit). • Reporte de Detección de Interferencias (Software: Navisworks, Revit). • Análisis Comparativo de interferencias (2D vs. BIM).
Variable Dependiente: <i>Mejora en la ingeniería de detalle</i>	Impacto de BIM en la precisión, eficiencia y gestión del diseño del alimentador de media tensión.	1. Precisión Técnica 2. Eficiencia Económica 3. Eficiencia Temporal 4. Reducción de Errores	• Precisión de metrados: % de error en metrados (comparación 2D vs BIM). • Reducción de costos directos: monto en soles (S/) y porcentaje (%) de ahorro. • Optimización de cronograma: número de días de reducción en el plazo del proyecto. • Número de errores de diseño evitados (omisiones de insumos, incompatibilidades dimensionales).	- Comparativa de Metrados (Listas de materiales 2D vs. Reportes de extracción de BIM). • Análisis de Presupuestos comparativos (Análisis de costos 2D vs. BIM).

1.7. Alcances Del Trabajo

En primer lugar, se revisa el diseño original del alimentador de media tensión, hecho con herramientas 2D, para identificar sus principales falencias. Se presta especial atención a problemas de coordinación entre especialidades, imprecisiones en la representación espacial y errores en el detalle de los componentes.

Luego, se desarrolla un modelo tridimensional del mismo sistema utilizando la metodología BIM. Este modelo integra todos los elementos del proyecto y permite ver cómo esta forma de trabajar mejora la precisión del diseño y facilita el trabajo conjunto entre los distintos especialistas.

A continuación, se comparan los resultados obtenidos con ambos métodos. La comparación incluye la exactitud en el cálculo de costos y metrados, así como el impacto en los tiempos previstos para el diseño y la construcción.

Finalmente, con lo aprendido en el proyecto de Espinar, se propone una forma de trabajo que pueda ser aprovechada en futuras obras de la región. La idea es que esta experiencia sirva para impulsar el uso de BIM y mejorar la calidad de proyectos similares en el distrito y sus alrededores.

1.8. Limitaciones Del Trabajo

Durante el desarrollo del trabajo se encontraron algunas limitaciones que conviene señalar:

La aplicación de BIM requiere programas especializados que tienen un costo elevado y equipos de cómputo con buena capacidad de procesamiento. Además, para trabajar con esta metodología se necesita cierto entrenamiento previo. La poca experiencia que se tenía al inicio pudo haber influido en la calidad de algunos modelos.

Los resultados obtenidos dependen en buena medida de la información disponible del proyecto original. Si los planos en 2D, los metrados o los presupuestos no estaban completos o eran poco precisos, eso pudo afectar la comparación entre ambos métodos.

Por último, lo que se encontró en el proyecto de Espinar responde a las condiciones particulares de esa obra. No necesariamente se repetirá de la misma manera en otros lugares con características distintas, por lo que las conclusiones deben tomarse con cuidado al querer aplicarlas a otros casos.

1.9. Metodología

1.9.1. Tipo de Investigación.

Este trabajo es de tipo aplicado porque busca dar solución a un problema concreto: mejorar el diseño del alimentador de media tensión usando BIM. No se trata solo de entender la teoría, sino de poner en práctica esta metodología en un proyecto real, con la intención de que lo aprendido pueda servir en otros trabajos similares.

1.9.2. Diseño de la investigación

El estudio se plantea como no experimental y comparativo. No se modifican las condiciones del proyecto ni se interviene en su desarrollo real; lo que se hace es tomar los documentos técnicos existentes (planos, metrados, presupuestos, cronogramas) y contrastarlos con los resultados que se obtienen al aplicar BIM. De esta manera se pueden ver, lado a lado, las diferencias entre una forma de trabajar y la otra, y sacar conclusiones sobre cuál ofrece mejores resultados.

1.9.3. Nivel de Estudio

El trabajo tiene un nivel descriptivo. Lo que se busca es identificar y mostrar con claridad los cambios que trae consigo el uso de BIM en el diseño del alimentador.

Se observan y registran aspectos como la exactitud en los metrados, los ahorros económicos, el cumplimiento de los plazos y la mejora en la comunicación entre las distintas especialidades que participan en el proyecto.

1.9.4. Enfoque del Estudio

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa exclusivamente en el análisis de datos numéricos y medibles. Entre ellos se incluyen:

- A. Precisión de metrados** (porcentaje de errores).
- B. Ahorro económico** (S/ y porcentaje frente al presupuesto inicial).
- C. Cumplimiento de cronograma** (días de retraso o anticipación).
- D. Optimización de recursos** (reducción de costos indirectos).

1.9.5. Población y Muestra

1.9.5.1. Población

Proyectos de infraestructura eléctrica en media tensión en la región Cusco que emplean metodologías de diseño tradicionales.

1.9.5.2. Muestra

El alimentador de media tensión del Complejo Deportivo de Espinar, seleccionado por ser un caso representativo en cuanto a magnitud, complejidad y condiciones técnicas, permitiendo extrapolar resultados hacia proyectos similares.

1.9.6. Técnicas de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizará mediante la obtención de planos en 2D y modelos BIM desarrollados en Revit, los cuales servirán como base para su análisis comparativo. Este proceso permitirá evaluar distintos criterios de desempeño, tales como la precisión de la información, el grado de coordinación entre especialidades y la confiabilidad en la estimación de costos del proyecto.

1.9.7. Procesamiento de Datos

Los datos obtenidos en el estudio serán tratados y evaluados mediante herramientas propias del entorno BIM, utilizando Revit para el desarrollo del modelado y la generación de información asociada, y Navisworks para la coordinación del modelo, el análisis de compatibilidades entre especialidades y la identificación de interferencias.

La información extraída del modelo, incluyendo metrados, parámetros técnicos de componentes y registro de incidencias, será organizada en tablas para su posterior comparación con los datos del diseño tradicional en 2D.

1.9.8. Técnicas de análisis

El análisis se realizará considerando los siguientes enfoques:

En primer lugar, la precisión del modelo será evaluada a partir de la cantidad de errores identificados y corregidos durante la fase de diseño, así como del número de interferencias detectadas mediante clash detection en Navisworks.

En segundo lugar, la evaluación de costos se llevará a cabo mediante la comparación entre los presupuestos estimados a partir del modelo BIM (metrados extraídos automáticamente) y los presupuestos originales elaborados con el método tradicional en 2D, calculando las diferencias absolutas y relativas en soles y porcentajes.

En tercer lugar, el análisis de tiempos se realizará contrastando los cronogramas planificados inicialmente frente a los cronogramas efectivamente ejecutados, identificando las actividades que presentaron desviaciones y cuantificando la reducción en días u horas atribuible a la implementación BIM.

1.10. Matriz De Consistencia

En la página siguiente se presenta la matriz de consistencia:

Matriz de Consistencia: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM PARA MEJORAR LA INGENIERÍA DE DETALLE DEL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN PARA EL COMPLEJO DEPORTIVO DEL DISTRITO DE ESPINAR, CUSCO				
Elemento	Problema	Objetivo	Hipótesis	Conclusiones
General	¿Cómo mejorar la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del distrito de Espinar?	Aplicar la metodología BIM para mejorar la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del distrito de Espinar.	Aplicando la metodología BIM se mejora la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión, al permitir una mejor visualización, detección de interferencias, precisión en metrados y optimización de costos y tiempos en comparación con el diseño tradicional en 2D.	La aplicación de BIM mejora la ingeniería de detalle del alimentador, al integrar información geométrica y técnica en un modelo tridimensional, optimizando la calidad del diseño.
Específico 1	¿Cómo afectan las limitaciones del diseño en 2D a la precisión del proyecto del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del distrito de Espinar?	Analizar las limitaciones del diseño en 2D en la precisión del proyecto del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del distrito de Espinar.	Con el uso del software Revit, se mejorará la precisión del proyecto y reducirá errores del diseño en comparación con planos en 2D.	La implementación de BIM con Revit mejora la precisión del diseño y reduce errores dimensionales no identificables en el diseño tradicional en 2D.
Específico 2	¿De qué manera el diseño tradicional en 2D limita la detección de interferencias con viviendas y elementos del entorno, así como el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad?	Implementar un modelo BIM 3D para mejorar la detección de interferencias y la verificación de distancias de seguridad.	La aplicación de BIM permite detectar interferencias y verificar el cumplimiento de distancias mínimas de seguridad mediante herramientas como Navisworks.	El modelo BIM con Navisworks permite detectar interferencias espaciales (como el conflicto con el Centro de Salud) y verificar distancias de seguridad, evitando replanteos en obra.
Específico 3	¿En qué medida las inexactitudes de los metrados obtenidos a partir del diseño en 2D afectan la precisión de los metrados y la estimación presupuestal del proyecto?	Obtener metrados automatizados mediante BIM para mejorar la precisión de los metrados y del presupuesto del proyecto.	La extracción automatizada de metrados mediante BIM mejora la precisión presupuestal y reduce errores en comparación con el método tradicional.	La automatización de metrados mediante BIM mejora la precisión de los costos y reduce la omisión de materiales, optimizando el presupuesto del proyecto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Bases Teóricas

2.1.1. Metodología BIM

“La metodología BIM se entiende como un conjunto estructurado de procesos, lineamientos y flujos de trabajo estandarizados que facilitan la generación, administración y el intercambio de información digital durante todas las fases del ciclo de vida de un proyecto de infraestructura o edificación. A diferencia del software BIM, como Revit o ArchiCAD, que corresponde a las herramientas tecnológicas utilizadas para el modelado, la metodología BIM define el enfoque de trabajo, es decir, el “cómo se realiza” el proyecto, estableciendo criterios, roles, responsabilidades, secuencias operativas y niveles de información necesarios.

De este modo, se asegura la coordinación entre los distintos agentes involucrados, promoviendo la interoperabilidad entre disciplinas, la trazabilidad de los datos y la consistencia de la información, lo que contribuye a una mejor toma de decisiones y a la mejora de la calidad del proyecto en su conjunto” (Eastman, 2018).

2.1.2. ¿Concepto y Funcionamiento de BIM?

“La incorporación de la metodología BIM ha impulsado significativamente la digitalización en el sector de la construcción. Este enfoque se caracteriza por ser colaborativo y orientado a la gestión de proyectos en tiempo real, permitiendo la integración continua de información durante todas las fases del proyecto.

Mediante el uso de herramientas de modelado tridimensional, BIM integra en un entorno digital único toda la información asociada al proyecto, lo que facilita su análisis a lo largo de su ciclo de vida, desde la etapa de diseño hasta su posible demolición. Este proceso involucra a todos los actores del proyecto, como arquitectos, ingenieros, constructores y otros especialistas, promoviendo un trabajo coordinado basado en información compartida.

Asimismo, este sistema no solo centraliza la representación geométrica de los elementos constructivos, sino que también incorpora datos técnicos, económicos y logísticos, como especificaciones, costos y características de adquisición. Esto contribuye a una mejor gestión del proyecto y a una toma de decisiones más eficiente. En comparación con los métodos tradicionales basados en planos bidimensionales, BIM representa una evolución importante, ya que integra variables adicionales como el tiempo, los costos, el impacto ambiental y el mantenimiento, proporcionando así una visión más completa y global del proyecto constructivo” (Leanconstruction.com, 2025).

Figura 4

Ciclo de vida del proyecto según BIM



Fuente: Adaptado de la Cámara Argentina de la construcción. En la figura se observa el ciclo de vida del proyecto (diseño, construcción, operación) y las dimensiones BIM (3D, 4D, 5D, 6D, 7D).

2.1.2.1. Plan de implementación BIM

El plan de implementación BIM tiene como finalidad integrar esta metodología en una organización de forma progresiva y controlada, asegurando una gestión adecuada que reduzca riesgos y optimice el aprovechamiento de los recursos disponibles. Para ello, se establece un enfoque estructurado y normativo que guía su adopción. Dentro de este marco, la estrategia de implementación BIM posibilita, entre otros aspectos, la organización eficiente del proceso de transición hacia el uso de esta metodología (Ministerio de Vivienda, 2019):

- A.** La adopción eficiente de la metodología BIM contribuye a una gestión más adecuada y racional de los recursos disponibles.
- B.** Permite establecer una base de comparación para monitorear, evaluar y realizar ajustes durante el proceso de implementación.
- C.** Promueve la colaboración entre los equipos de trabajo, favoreciendo un enfoque integrado en la gestión de proyectos.

“Permite definir de manera clara los objetivos institucionales vinculados a la adopción de la metodología BIM. Al tratarse de un enfoque innovador, su implementación conlleva un proceso de aprendizaje progresivo que puede influir temporalmente en el rendimiento inicial de la organización. En este sentido, el GDP tiene como finalidad reducir dicho impacto, especialmente relevante para las entidades que incorporan BIM, ya que durante las primeras etapas es habitual observar una disminución en la productividad respecto a los métodos tradicionales anteriormente empleados” (Ministerio de Vivienda, 2019).

2.1.2.2. Plan de ejecución BIM

“El plan de ejecución BIM establece las especificaciones técnicas, los roles y responsabilidades, los procesos de trabajo, así como los entregables y los hitos necesarios para desarrollar un modelo conforme a los lineamientos definidos. Además, permite organizar la gestión de la información y la coordinación entre los participantes del

proyecto. Su elaboración corresponde al coordinador BIM, quien lo redacta y firma, siendo necesaria la aprobación del coordinador general BIM para su validación” (Ministerio de Vivienda, 2019).

2.1.2.3. Estándares BIM

“La metodología BIM concentra la información del proyecto en un modelo digital único, por lo que resulta indispensable organizar, estructurar y clasificar adecuadamente los datos para asegurar su uso eficiente en el momento requerido. En este contexto, la normalización de los procesos se vuelve fundamental para garantizar la consistencia, coherencia y confiabilidad de la información generada durante el desarrollo del proyecto. Asimismo, la estandarización de la documentación constituye un principio esencial de la constructibilidad, ya que favorece la comunicación entre los distintos agentes involucrados.

Con el fin de facilitar el manejo de la información del proyecto, estas directrices deben ser recopiladas en un manual de estándares BIM, el cual esté disponible para todos los participantes” (Alfaro, 2019).

Se aplican los siguientes estándares BIM:

- A. ISO 19650-1 y 19650-2: para la gestión de la información a lo largo del proyecto, incluyendo la organización del CDE y los procesos de intercambio de información.
- B. Guía Nacional BIM (RD N° 0003-2023-EF/63.1): como referente para la implementación de BIM en el contexto peruano, particularmente en lo referente a usos BIM, roles y niveles de información.

2.1.3. Definición de BIM (Según ISO 19650)

“El BIM (Building Information Modeling) se fundamenta en principios como la interoperabilidad, la colaboración, la parametricidad y la gestión del ciclo de vida, los cuales permiten un trabajo coordinado entre disciplinas y el uso continuo del modelo

desde la etapa de diseño hasta la demolición. Esta metodología se basa en modelos digitales tridimensionales paramétricos que integran información multidisciplinaria para administrar eficientemente los datos a lo largo de todas las fases de un proyecto, incluyendo diseño, construcción, operación y fin de vida. Su objetivo es optimizar recursos, reducir riesgos y estandarizar los procesos mediante el intercambio constante de información entre los agentes involucrados (Norma ISO 19650, 2018).

En este contexto, BIM representa una evolución respecto a los sistemas CAD tradicionales, los cuales se limitan a la representación gráfica mediante entidades geométricas básicas como líneas, arcos y textos. A diferencia de ello, BIM introduce objetos inteligentes con propiedades paramétricas que contienen información tanto geométrica como alfanumérica, estableciendo además relaciones entre los elementos del modelo.

Esta característica permite que cualquier modificación realizada en un componente se refleje automáticamente en todos los elementos vinculados, garantizando la coherencia del modelo y mejorando la coordinación del proyecto” (Norma ISO 19650, 2018).

2.1.4. Componentes clave del BIM

- A. “Usos BIM:** Son los distintos propósitos o aplicaciones de BIM dentro de un proyecto/inversión, relacionados a las fases del ciclo de inversión” (Finanzas, 2023).

Para el desarrollo de la presente investigación, se han determinado diversos usos específicos de la metodología BIM aplicados al proyecto, entre los cuales se incluyen el modelado de ingeniería de detalle del alimentador de media tensión, la coordinación entre disciplinas mediante la detección de interferencias, la obtención automatizada de metrados asociados al BIM 5D y la elaboración de documentación técnica, como planos y especificaciones, generada directamente a partir del modelo digital.

- B. “Nivel de Información necesaria (LOIN- leve lof Information necessary):** Incluye tanto nivel geométrico (nivel de detalle) como nivel de información documental (metadatos, atributos, etc.)” (Finanzas, 2023).

C. “Roles BIM: Define las responsabilidades de las personas que intervienen en los procesos de gestión de información BIM: quién hace qué, cómo, cuándo” (Finanzas, 2023).

D. “Common Data Environment (CDE): entorno digital centralizado para almacenar, gestionar y compartir, la información del proyecto en tiempo real (ISO 19650-2, 2018).

En el contexto de esta investigación, el CDE se implementó mediante una estructura de carpetas organizada que permitió gestionar las diferentes versiones del modelo, los archivos de intercambio (IFC), la documentación generada y los reportes de interferencias. Esta organización garantizó la trazabilidad de la información y el acceso controlado a los diferentes entregables del proyecto.

E. Niveles de Desarrollo (LOD): define el grado de Precisión del modelo, ejemplo LOD 200 (Diseño preliminar (, LOD 300 (diseño detallado), LOD 400(fabricación y para construcción) y LOD 500 (Operación y mantenimiento)”. (AIA, 2013).

Para el desarrollo de esta tesis, se ha adoptado un nivel de desarrollo LOD 300 (diseño detallado) para todos los componentes del alimentador de media tensión.

Este nivel implica que los elementos se modelan con precisión dimensional, incluyendo cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación, así como información no gráfica asociada.

Este LOD es el adecuado para la ingeniería de detalle y la extracción de metrados para presupuestos.

2.1.5. Roles BIM

A. “Líder BIM: Gestiona, lidera y diseña los procesos y estrategias para la adopción de BIM a nivel organizacional de la entidad (o parte que designa), de acuerdo con los objetivos y necesidades institucionales” (Finanzas, 2023).

- B. “Gestor BIM:** responsable del proceso de Gestión de la Información BIM: establece los requisitos de información de las inversiones, coordina con el Líder BIM” (Finanzas, 2023).
- C. “Coordinador BIM:** Coordina la ejecución de los modelos de información; asegura cumplimiento de los requisitos de información, normativas y procedimientos establecidos. Verifica que los requerimientos de información se cumplan, coordina con modeladores BIM. Participa en control de calidad, gestiona interferencias o colisiones, coordina contenedores de información” (Finanzas, 2023).
- D. “Modelador BIM:** Desarrolla los modelos de información de acuerdo con los requisitos señalados (LOIN, normas de información del proyecto), en constante coordinación con el coordinador BIM y el resto del equipo” (Finanzas, 2023).
- E. “Supervisor BIM:** Realiza revisiones periódicas a la información/modelos producidos, verificando que se cumplan los requisitos antes de su entrega al Gestor BIM; colabora con el coordinador BIM en controles de calidad” (Finanzas, 2023).

En el marco de esta investigación, el investigador asumió múltiples roles BIM debido a la naturaleza académica del estudio:

Modelador BIM: responsable del desarrollo del modelo tridimensional del alimentador de media tensión en Revit, incluyendo la creación de familias paramétricas de componentes eléctricos específicos (postes, celdas, transformadores).

Coordinador BIM: encargado de la detección de interferencias utilizando Navisworks, verificando la compatibilidad del trazado eléctrico con el entorno y consigo mismo.

Supervisor BIM: responsable del control de calidad del modelo, verificando el cumplimiento de los requisitos de información y la correcta aplicación de la normativa eléctrica peruana. **Gestor BIM:** estableció los requisitos de información del proyecto y definió los usos BIM a implementar.

2.1.6. Aplicación de BIM a sistemas eléctricos de media tensión.

2.1.6.1. Aplicaciones específicas

La metodología BIM revoluciona el diseño de sistema eléctricos de media tensión (MT) mediante las siguientes aplicaciones clave:

A. Modelado paramétrico de componentes eléctricos

Librerías de componentes eléctricos paramétricos (ej. Cables, subestaciones estructuras, canalizaciones, celdas), con propiedades técnicas vinculadas a normativas (CNE-Suministro, 2011).

B. Coordinación multidisciplinaria.

Clash detection automatizado: Detección de interferencias entre ductos eléctricos y otros sistemas.

C. Simulación y validación.

De distancias mínimas de seguridad, accesibilidad de equipos y cumplimiento normativo (CNE – Suministro, 2011; IEC 61936) Modelado paramétrico de componentes eléctricos. Extracción automática de cantidades de cables, accesorios y equipos eléctricos, mejorando la precisión en costos y cronogramas.

2.1.6.2. Modelado paramétrico de componentes de media tensión

El modelado paramétrico de componentes eléctricos de media tensión implica la creación de objetos digitales que representan fielmente los elementos físicos del sistema. Estos objetos no solo contienen la geometría tridimensional, sino también parámetros editables que definen sus propiedades técnicas. Para este proyecto, se modelaron los siguientes componentes:

- A. Postes de concreto y fibra de vidrio: modelados con alturas, cargas de trabajo y disposición de herrajes parametrizables.
- B. Conductores AAAC y N2XSJ: representados como elementos lineales con propiedades de sección, material, capacidad de corriente y peso.
- C. Subestaciones de distribución: modeladas con transformadores, celdas de protección y medición, y sistemas de puesta a tierra.
- D. Accesorios y ferretería: aisladores, conectores, retenidas, modelados como familias paramétricas con especificaciones técnicas.

2.1.6.3. Detección automática de interferencias (Clash Detection)

La detección de interferencias es uno de los usos BIM más relevantes para proyectos eléctricos de media tensión.

Utilizando software como Navisworks, se pueden identificar automáticamente tres tipos de conflictos:

- A. Interferencias duras (hard clashes): ocurren cuando dos elementos ocupan físicamente el mismo espacio, por ejemplo, un poste que intersecta con una tubería de agua existente.
- B. Interferencias blandas (soft clashes): se producen cuando no se respetan las distancias de seguridad normativas, por ejemplo, la distancia mínima entre conductores de media tensión y edificaciones o vías.
- C. Interferencias de trabajo (workflow clashes): relacionadas con la secuencia constructiva, por ejemplo, accesibilidad para el montaje de transformadores.

2.1.6.4. Extracción automatizada de metrados (BIM 5D)

La capacidad de BIM para extraer automáticamente cantidades de obra constituye una ventaja fundamental para la precisión presupuestaria. Desde el modelo se pueden obtener:

- A.** Longitudes de conductores por tipo y calibre.
- B.** Número de postes por tipo y altura.
- C.** Volúmenes de excavación para cimentaciones de postes y subestaciones.
- D.** Cantidad de accesorios (conectores, aisladores, retenidas).
- E.** Volúmenes de concreto para cimentaciones.

Estos metrados se actualizan automáticamente ante cualquier modificación del diseño, garantizando la coherencia entre el modelo y el presupuesto.

2.1.6.5. Verificación normativa asistida

El modelo BIM permite verificar el cumplimiento de la normativa eléctrica mediante reglas parametrizadas. En este proyecto, se verificaron:

- A.** Distancias de seguridad vertical y horizontal de conductores según CNE Suministro.
- B.** Radios de curvatura mínimos para cables subterráneos.
- C.** Alturas de montaje de equipos y accesorios.
- D.** Distancias entre postes y elementos del entorno (calzadas, edificaciones).

2.1.6.6. Ventajas sobre métodos Tradicionales

A continuación, se presentan las principales diferencias entre el método tradicional CAD 2D y la metodología BIM en dos criterios fundamentales para la ingeniería de detalle.

Tabla 2

Ventajas CAD vs BIM

CRITERIO	CAD 2D	BIM
DETECCIÓN DE ERRORES	Manual (por plano)	Automática (clash detection)
ACTUALIZACIONES	Requieren revisión individual	Sincronización en tiempo real

Fuente: Elaboración propia.

2.1.7. Las ventajas del BIM

“La metodología BIM presenta múltiples ventajas para el desarrollo de proyectos de ingeniería, las cuales han sido documentadas por diversos autores (Suarez Melendez et al., 2019). Estas ventajas pueden agruparse en las siguientes categorías:

a) Precisión y consistencia documental: Los planos, cortes, elevaciones y demás documentación técnica se derivan directamente del modelo tridimensional, lo que garantiza la coherencia entre todos los entregables y elimina las discrepancias típicas del diseño 2D donde cada plano se elabora de forma independiente.

b) Colaboración multidisciplinaria: BIM permite que diferentes especialistas (ingenieros eléctricos, civiles, estructurales) trabajen sobre un mismo modelo base, centralizando la información y facilitando la coordinación entre disciplinas. Esta característica es fundamental en proyectos eléctricos que interactúan con otros sistemas.

c) Detección temprana de errores: El modelo BIM permite construir digitalmente el proyecto antes de la ejecución física, identificando problemas potenciales en fase de

diseño. Esta práctica, conocida como "construir dos veces", reduce significativamente las sorpresas durante la obra y los costos asociados a modificaciones tardías.

d) Visualización avanzada: La representación tridimensional facilita la comprensión del proyecto a todos los involucrados, incluyendo propietarios y personal sin formación técnica, mejorando la calidad de las decisiones y la comunicación entre las partes.

e) Automatización de cálculos y metrados: El modelo permite obtener de forma instantánea y precisa cantidades de obra, áreas, volúmenes y otros indicadores, eliminando los errores de cálculo manual y agilizando la elaboración de presupuestos y cronogramas” autores (Suarez Melendez et al., 2019).

2.1.8. BIM y sus Dimensiones

El BIM abarca varias dimensiones, como el 3D para el modelado geométrico, 4D para la planificación del tiempo, 5D para la estimación de costos, y más, permitiendo una gestión integral de los proyectos.

Figura 5

Las siete dimensiones de la Metodología BIM: desde el concepto (1D) hasta el mantenimiento (7D)



Fuente: AIS Building Outnovation. En la figura se observan las 7 dimensiones BIM: 1D (concepto), 2D (boceto), 3D (modelo tridimensional), 4D (programación), 5D (control de costes), 6D (sostenibilidad) y 7D (mantenimiento), con sus respectivos elementos asociados.

En el contexto de esta investigación, la dimensión 1D corresponde a la identificación de la necesidad del alimentador de media tensión para el Complejo Deportivo de Espinar, así como a los estudios de viabilidad iniciales y la definición de los requerimientos técnicos del proyecto.

2.1.8.1. BIM 1D: La idea

“La fase conceptual, en la cual se origina el proyecto, se definen sus lineamientos generales y se establece su ubicación, constituye la primera y más importante dimensión para la toma de decisiones iniciales. En esta etapa, mediante estudios de viabilidad, esquemas preliminares y estimaciones iniciales, se establecen las bases sobre las cuales se desarrollará el proyecto futuro” (García, 2017).

2.1.8.2. BIM 2D: El Boceto

“La segunda dimensión corresponde al desarrollo inicial de la idea, donde se ejecutan los estudios proyectados mediante cálculos y diseños que permiten establecer estimaciones de costos y pre-dimensionamientos del proyecto. En esta etapa también se organizan los suministros y se configuran las herramientas informáticas necesarias para el modelado. Asimismo, se definen las cargas estructurales y energéticas, sentando las bases para la sostenibilidad del proyecto” (García, 2017).

La dimensión 2D en esta tesis está representada por el diseño original del alimentador desarrollado con herramientas CAD tradicionales. Este diseño bidimensional constituye la línea base para la comparación con la metodología BIM, permitiendo cuantificar las limitaciones del enfoque 2D en términos de representación espacial y coordinación.

2.1.8.3. BIM 3D: Modelo Tridimensional

“A través de una representación integral que incluye la geometría del modelo, esta dimensión comienza a materializar lo definido en las etapas anteriores. En este contexto, profesionales como arquitectos, ingenieros, constructores y gestores pueden acceder,

aportar y gestionar información de acuerdo con sus requerimientos dentro de este entorno colaborativo” (Gruppe, 2016).

La dimensión 3D constituye el núcleo de esta investigación, materializada en el modelo tridimensional paramétrico del alimentador de media tensión desarrollado en Revit. Este modelo integra todos los componentes del sistema (postes, conductores, subestaciones, accesorios) con sus propiedades geométricas y técnicas, permitiendo una representación fiel de la realidad.

2.1.8.4. BIM 4D: Programación

“En esta dimensión, el proyecto debe reflejar de manera clara la secuencia de su ejecución o desarrollo, facilitando la toma de decisiones para prevenir retrasos. Herramientas tradicionales de planificación, como los diagramas de barras y las redes CPM (camino crítico), pueden ser reemplazadas por modelos 4D, lo que permite una mejor comprensión del cronograma y una identificación más ágil de posibles inconvenientes” (Gruppe, 2016).

Aunque no es el enfoque principal de esta tesis, la dimensión 4D se aborda mediante la comparación del cronograma estimado para el diseño 2D versus el tiempo real de desarrollo con BIM, así como la optimización de 29 días en el cronograma global del proyecto demostrada en los resultados.

2.1.8.5. BIM 5D: Costo

“Esta dimensión permite emplear modelos digitales para generar estimaciones detalladas y proyecciones de costos a lo largo del ciclo de vida en tiempo real. De esta manera, el gestor de costos puede realizar múltiples evaluaciones de forma rápida, considerando diversas combinaciones y cantidades de materiales para estimar los costos. Se trata de la quinta dimensión, una de las más relevantes de la metodología, enfocada en los aspectos económicos del proyecto” (Smith, 2015).

La dimensión 5D es una de las más relevantes para esta investigación, ya que permitió la extracción automatizada de metrados desde el modelo BIM y la comparación con los

metrados obtenidos del diseño 2D. Esta dimensión sustenta los resultados de ahorro económico del 18.19% y la mejora en precisión de metrados hasta el 94.9%.

2.1.8.6. BIM 6D: Sostenibilidad

“Esta dimensión incorpora un aspecto clave y de alto valor en los proyectos constructivos: la sostenibilidad. A través de la simulación del comportamiento energético, permite realizar análisis que facilitan la toma de decisiones técnicas y la selección de tecnologías orientadas a optimizar el consumo de energía y disminuir el impacto ambiental. En este sentido, BIM 6D se enfoca principalmente en mejorar el desempeño del proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida” (Gruppe, 2016).

En el marco de esta tesis, la dimensión 6D se aborda desde la perspectiva de optimización de recursos, al reducir las omisiones de insumos en un 92.90% y, consecuentemente, minimizar los desperdicios y sobreconsumos durante la ejecución del proyecto.

2.1.8.7. BIM 7D: Mantenimiento

“La séptima y última dimensión integra y refleja todas las anteriores, enfocándose en la gestión operativa y logística del edificio durante su uso y mantenimiento. En esta etapa, se dispone de un modelo digital que concentra toda la información relevante del proyecto, incluyendo instalaciones y procesos constructivos, accesible para los distintos involucrados. Esto permite planificar y ejecutar mantenimientos de manera preventiva, anticipándose a posibles fallas en los componentes adecuados” (Gruppe, 2016).

La dimensión 7D se considera en esta investigación mediante la incorporación en el modelo de información relevante para futuras intervenciones de mantenimiento y operación del alimentador, como especificaciones técnicas de equipos, fechas de instalación y manuales de operación.

2.1.9. Diferencias CAD vs BIM

“La mayoría de los proyectos del sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) han sido desarrollados tradicionalmente mediante métodos basados en documentación en

papel, los cuales permiten representar con detalle los elementos del proyecto a través de planos y dibujos arquitectónicos.

No obstante, este tipo de documentación independiente dificulta la integración entre disciplinas, ya que incluso cambios simples pueden requerir horas o días para su actualización, impresión y revisión.

Además, la modificación de documentos relacionados entre distintas especialidades suele resultar compleja y poco eficiente.

Por otro lado, para muchos participantes del proyecto, la interpretación de estos documentos impresos no resulta sencilla.

Por ejemplo, los usuarios finales rara vez logran comprender o aportar observaciones significativas a partir de planos bidimensionales o diagramas de programación como los de Gantt.

En cuanto al diseño y la documentación de edificaciones, existen diferencias fundamentales entre las metodologías CAD y BIM. Mientras que el CAD se basa en la elaboración de dibujos bidimensionales mediante elementos gráficos como líneas, tramas y textos, reproduciendo el proceso tradicional de dibujo en papel, cada plano se genera de forma independiente, lo que obliga a realizar las modificaciones manualmente en cada uno de ellos.

En contraste, BIM representa el proceso constructivo de manera más fiel, ya que los edificios se modelan a partir de componentes reales, como muros, ventanas, losas y cubiertas, en lugar de simples representaciones en 2D” (Srivastava, 2016).

Las diferencias entre CAD y BIM tienen implicaciones directas en la calidad de los proyectos eléctricos, como se resume en la siguiente tabla:

Tabla 3*Comparación detallada entre CAD y BIM para proyectos*

CRITERIO	CAD 2D	BIM
Representación de componentes	Símbolos 2D convencionales sin información asociada	Objetos 3D paramétricos con atributos técnicos
Actualización de cambios	Manual, requiere modificar cada plano individualmente	Automática, los cambios se propagan a todo el modelo
Extracción de metrados	Manual, propenso a errores y omisiones	Automática desde el modelo, actualizable en tiempo real
Coordinación multidisciplinaria	Superposición visual de planos, detección manual	Detección automática de interferencias (clash detection)
Verificación normativa	Revisión manual de cada plano	Chequeos automatizados mediante reglas parametrizadas

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (Srivastava, 2016).

2.1.10. Sistema de Utilización en M.T.

“Conjunto de instalaciones eléctricas en M.T., el cual se desarrolla desde el Punto de Diseño hasta las salidas del lado de B.T. del Transformador” (Juárez Cervantes, 2005).

2.1.11. Concesionario de Distribución de Energía Eléctrica

“Es empresa que realiza labores de distribución de energía eléctrica en las áreas que le han sido concedidas por el MINEM” (Ministerio de Energía y Minas, 2002).

2.1.12. Punto de Diseño

“Corresponde al punto definido por la concesionaria desde el cual se desarrolla el proyecto de suministro eléctrico (S.U.).” (Ministerio de Energía y Minas, 2002).
Procedimientos Para La Elaboración De Proyectos Y Ejecución De Obras En Sistemas De Distribución Y Sistemas De Utilización En Media Tensión En Zonas De Concesión De Distribución.

2.1.13. Suministro Eléctrico

“Como su nombre lo dice, es el Suministro de energía eléctrica regulada que brinda el Concesionario al usuario dentro de un régimen establecido por la Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento” (Ministerio de Energía y Minas, 2002).

2.1.14. Conexiones de Media Tensión

“Es el conjunto de dispositivos e instalaciones realizadas en M.T. (tensiones mayores a 1 kV y menores o igual a 35 kV)” (Minas, 2011).

2.1.15. Cables aéreos Tipo AAAC

“El **cable aéreo tipo AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)** es un conductor compuesto por hilos trenzados de aleación de aluminio de la serie 6201-T81, dispuesto concéntricamente. Se utiliza en redes de distribución primaria de media tensión debido a su mayor resistencia mecánica frente al aluminio puro (AAC) y a su mejor comportamiento frente a la corrosión en comparación con los conductores reforzados con acero (ACSR)” (NORMA IEC 61089, 2017).

2.1.16. Cables Unipolares de M.T. para Redes Subterráneas

“El cable es un componente eléctrico que tiene como fin transportar energía eléctrica de un punto hacia otro” (Ministerio de Energía y Minas, 2002).

2.1.17. Subestación Eléctrica de Media Tensión

“Una subestación eléctrica es una instalación destinada a la transformación del nivel de tensión, la cual integra un conjunto de equipos eléctricos. Su función principal consiste en modificar o convertir los niveles de voltaje y corriente de acuerdo con los requerimientos del sistema de distribución o transmisión” (Juárez Cervantes, 2005).

2.1.18. Transformador de Media Tensión

“El transformador es una maquina estática el cual permite aumentar o disminuir el nivel de tensión y corriente sin variar la potencia, a este fenómeno se le denomina inducción electromagnética. El transformador tiene partes principales como: núcleo ferromagnético, devanado primario y secundario, sistema de refrigeración y terminaciones de salida” (Juárez Cervantes, 2005).

2.1.19. Sistema de Puesta a Tierra

“La puesta a tierra forma parte de las instalaciones eléctricas como un mecanismo de seguridad y consiste en dirigir a tierra cualquier desviación de corriente, evitando así que el personal este en contacto con la parte energizada. Esto significa que una determinada zona de la instalación esté conectada por un conductor, a tierra para que, en caso de un cambio repentino de la corriente o un fallo en el aislamiento, las personas no sufran una descarga eléctrica” (Juárez Cervantes, 2005).

2.2. Marco Normativo

2.2.1. Normativas Internacionales

- A. ISO 19650:** gestión de la información BIM (Norma ISO 19650, 2018) : estándar para la gestión de la información BIM, aplicado en la organización de modelos 3D, coordinación multidisciplinaria y entrega de entregables.

Esta norma ha sido indica la gestión de la información del proyecto, particularmente en la organización del CDE, la definición de los requisitos de información y los procesos de intercambio de modelos entre las diferentes herramientas utilizadas (Revit, Navisworks).

- B. IEC 61968:** Estándar para modelado de sistemas eléctricos, que asegura la interoperabilidad entre el software BIM y herramientas de análisis eléctrico.

2.2.2. Normativas Peruanas

C. RD N° 0003-2023-EF/63.1: Guía nacional BIM, gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM (Finanzas, 2023).

Esta guía constituye el principal referente normativo para la implementación de la metodología BIM en el contexto peruano, particularmente en proyectos de inversión pública. Fue elaborada por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) como parte del Plan BIM Perú y se alinea con las normas internacionales ISO 19650-1:2021 e ISO 19650-2:2021, adaptándolas a la realidad nacional y articulándolas con el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Invierte.pe).

En el marco de la presente investigación, la Guía Nacional BIM ha sido aplicada siguiendo un procedimiento estructurado en cinco pasos fundamentales, los cuales se describen a continuación.

Esta guía, emitida por el MVCS en 2021, constituye el referente técnico nacional para la implementación de BIM en proyectos públicos del Perú.

1. Paso 1: Definición de los Usos BIM del Proyecto

La Guía Nacional BIM establece 28 usos BIM aplicables a las diferentes fases del ciclo de inversión (formulación, ejecución, operación y mantenimiento).

2. Paso 2: Asignación de Roles BIM

La Guía Nacional BIM define cinco roles principales para la gestión de información en proyectos BIM. Para la presente investigación, se adaptaron estos roles considerando la naturaleza académica del estudio:

Líder BIM: Gestiona y lidera la estrategia de adopción BIM a nivel organizacional. El investigador principal, responsable de definir los objetivos y alcance BIM del proyecto.

Gestor BIM: Establece los requisitos de información y coordina con el equipo de trabajo. El investigador, definiendo los hitos de entrega y los requisitos de información.

Coordinador BIM: Coordina el desarrollo de los modelos y asegura el cumplimiento de los requisitos. El investigador, supervisando la detección de interferencias y la integración de modelos.

Modelador BIM: Desarrolla los modelos de información según los requisitos establecidos. El investigador, realizando el modelado 3D en Revit de todos los componentes eléctricos.

Supervisor BIM: Realiza revisiones periódicas para verificar el cumplimiento de los requisitos. El asesor de tesis, revisando la calidad y precisión del modelo.

3. Paso 3: Definición de Niveles de Información (LOIN)

La Guía Nacional BIM introduce el concepto de LOIN (Level of Information Need) o Nivel de Información Necesaria, el cual integra tanto el nivel geométrico (LOD - Level of Detail) como el nivel de información documental (LOI - Level of Information). En el presente proyecto, esta definición permitió establecer con precisión qué información debía contener cada elemento del modelo en cada fase, evitando así tanto la falta de datos críticos como el exceso de información innecesaria.

De esta manera, se logró un equilibrio óptimo entre la rigurosidad técnica y la eficiencia en el modelado.

4. Paso 4: Elaboración del Plan de Ejecución BIM (PEB)

La Guía Nacional BIM establece que el Plan de Ejecución BIM (PEB) o BEP (BIM Execution Plan) es el documento que define cómo se implementará la metodología BIM en un proyecto específico.

5. Paso 5: Implementación del Entorno Común de Datos (CDE)

La Guía Nacional BIM, alineada con la ISO 19650, requiere la implementación de un Entorno Común de Datos (CDE) para la gestión centralizada de la información del proyecto.

D. Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011) (Minas, 2011): Establece los requisitos técnicos para las instalaciones de media tensión en el Perú. Esta norma es útil para verificar el cumplimiento técnico del diseño del alimentador.

Específicamente, se han verificado las distancias de seguridad mínimas entre conductores y obstáculos, las alturas mínimas de tendido de conductores sobre vías y áreas peatonales, el dimensionamiento de postes y crucetas según esfuerzos mecánicos, la separación entre fases y niveles de aislamiento, así como los requisitos de puesta a tierra y protecciones eléctricas:

Artículo 232.C: Establece los requisitos técnicos para las instalaciones de media tensión en el Perú. Esta norma es útil para verificar el cumplimiento técnico del diseño del alimentador. Específicamente, se ha verificado el Artículo 232.C, el cual regula las distancias de seguridad de los conductores aéreos respecto al suelo, edificaciones y vías, garantizando que no existan riesgos eléctricos para personas, vehículos o estructuras cercanas.

Asimismo, se han revisado las distancias de seguridad mínimas entre conductores y obstáculos, las alturas mínimas de tendido sobre vías y áreas peatonales, el dimensionamiento de postes y crucetas según esfuerzos mecánicos.

Artículo 250: Requisitos para el tendido de cables subterráneos, incluyendo profundidades mínimas y radios de curvatura.

Artículo 270: Condiciones de instalación de subestaciones y transformadores.

Artículo 300: Requisitos para sistemas de puesta a tierra.

E. RD N° 0007-2025-EF/63.01 (13 de agosto de 2025): Resolución que aprueba dos documentos fundamentales.

Nota Técnica: Características de software, hardware, entorno de datos comunes y otros recursos tecnológicos necesarios para la adopción de BIM: Establece los requisitos tecnológicos mínimos para la implementación de BIM en entidades públicas.

Listado de tipologías de proyectos del Gobierno Nacional y Gobiernos Regionales que se desarrollarán aplicando BIM: Identifica 14 tipos de proyectos de adopción obligatoria con BIM.

F. Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú: Aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 289-2019-EF y actualizado posteriormente por el Decreto Supremo N.º 108-2021-EF, este documento establece la hoja de ruta para la implementación de la metodología BIM en el sector público del Perú.

El plan se organiza en cuatro ejes estratégicos: (1) fortalecimiento del liderazgo del sector público, (2) desarrollo de un marco de trabajo colaborativo, (3) incremento de las capacidades de la industria y (4) difusión y comunicación de la visión BIM. Su implementación se proyecta de manera progresiva hasta el año 2030, fecha en la que se prevé la obligatoriedad del uso de BIM en las entidades del sector público.

2.3. Estado del Arte: aplicación de la metodología BIM en proyectos de ingeniería eléctrica

Para contextualizar y validar la presente investigación, se ha realizado un análisis de dos tesis peruanas que abordan la aplicación de la metodología BIM en el campo de la ingeniería eléctrica. Estos trabajos sirven como referentes directos por su similitud temática y por el uso de herramientas y normativas compartidas con el presente estudio.

2.3.1. Análisis del Trabajo: Rodríguez Cristóbal C. J. (2024) – UNCP

Tesis: “Implementación de la Metodología BIM para la Mejora de Gestión del Proyecto de Mejoramiento de los Alimentadores A4401, A4402 y A4403 — Junín, 2024”.

A. Resumen General

La investigación aborda la implementación integral de BIM en tres alimentadores de distribución de media tensión: A4401, A4402 y A4403, ubicados en la región Junín, Perú.

El proyecto fue desarrollado bajo el marco del sistema eléctrico nacional y tiene como propósito demostrar que la adopción de BIM en proyectos de distribución eléctrica aérea de 22.9 kV reduce el plazo de ejecución y el costo final respecto a la metodología convencional.

Para ello, se comparó el desempeño de ambas metodologías usando indicadores cuantitativos de plazo (ETO — Engineering Time Overrun) y costo (Rodríguez Cristóbal, 2024).

B. ¿Cómo se aplicó?

La implementación se estructuró en cuatro grandes etapas que aprovechan las dimensiones BIM de manera progresiva:

- 1) Se ejecutaron planes de vuelo fotogramétrico con drones para obtener ortofotos del área de influencia de los alimentadores.

- 2)

Las ortofotos fueron procesadas en el software Agisoft Metashape para generar modelos de elevación y una nube de puntos densa, la cual fue posteriormente importada a Autodesk ReCap para su limpieza y optimización.

Como se muestra en la Figura, la nube de puntos procesada permite representar con alta precisión las condiciones reales del terreno, sustituyendo el levantamiento convencional con estación total y reduciendo significativamente el tiempo de trabajo en campo.

Figura 6

Obtención de nube de puntos en RECAP



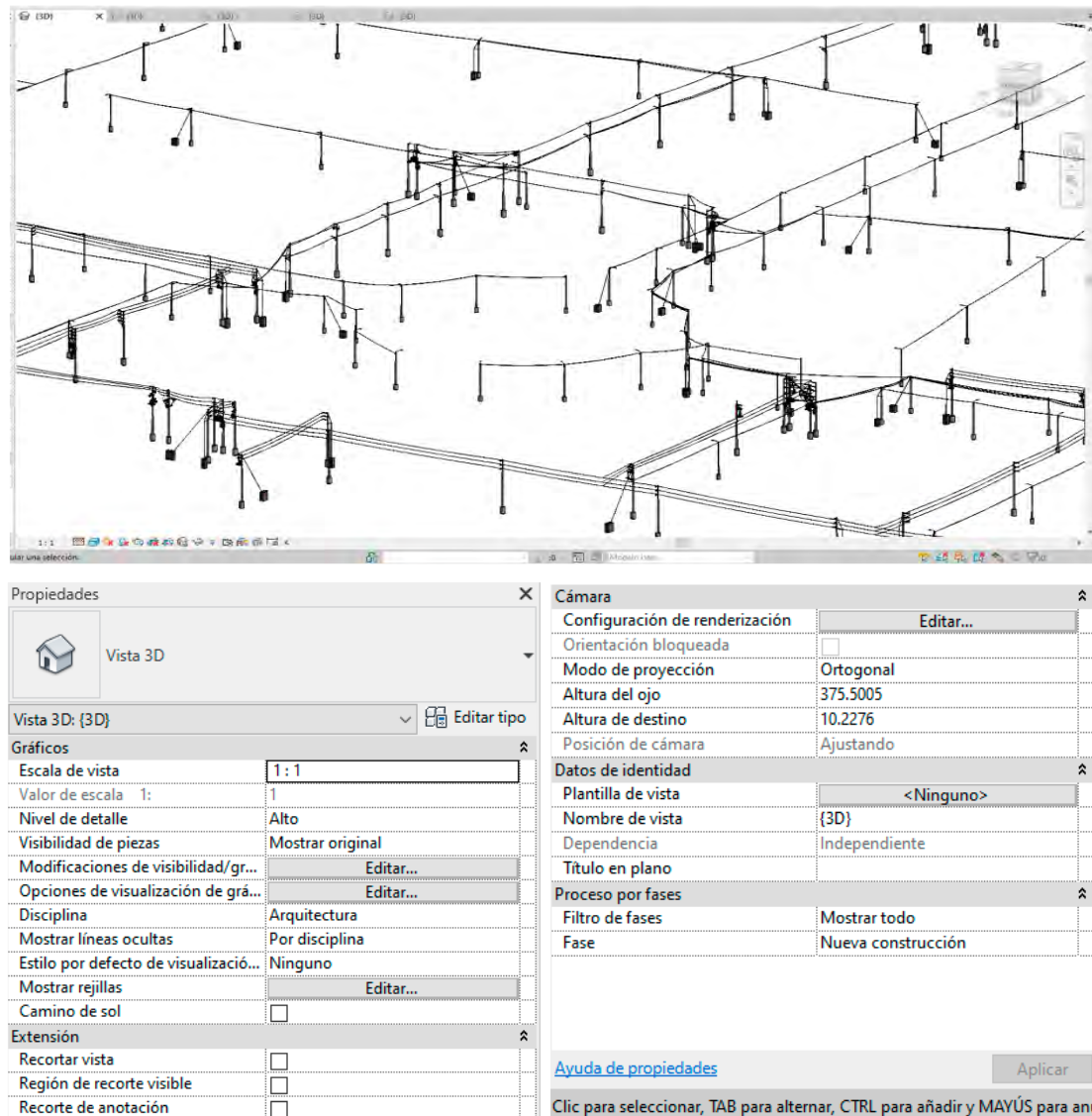
Fuente: (Rodríguez Cristóbal, 2024).

2) Modelado 3D electromecánico en Revit: Con base en la nube de puntos y los planos existentes, se construyó el modelo BIM 3D de las redes de distribución aérea (media tensión y baja tensión) en Autodesk Revit.

Se modelaron postes, conductores, crucetas, transformadores, seccionadores y demás componentes electromecánicos a nivel de LOD 300-350.

Tal como se observa en la Figura 7, el modelado permite representar de forma detallada la infraestructura eléctrica existente, facilitando la extracción automática de metrados y la generación de láminas de ingeniería de detalle.

Figura 7
Diseño electromecánico existente alámbrico en Revit



Fuente: (Rodríguez Cristóbal, 2024).

3) Coordinación de interferencias y cronograma 4D en Navisworks: El modelo fue exportado a Autodesk Navisworks para realizar la detección de interferencias (clash detection) entre elementos electromecánicos y obras civiles asociadas.

Paralelamente, se vinculó el modelo 3D con el cronograma de obra para generar la simulación 4D. Como se aprecia en la Figura 8, esta simulación permite visualizar el avance constructivo en el tiempo, facilitando la planificación y la toma de decisiones durante la ejecución del proyecto.

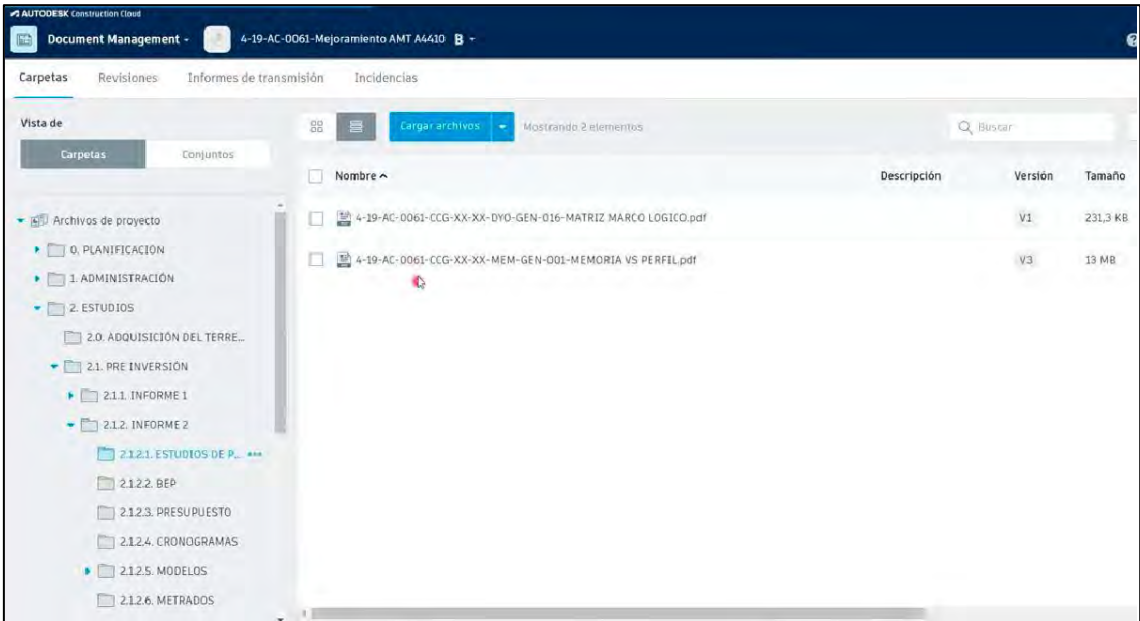
Figura 8
Recorrido virtual 4D redes de distribución



Fuente: (Rodríguez Cristóbal, 2024).

4) Entorno Común de Datos con BIM 360: Se implementó Autodesk BIM 360 como plataforma para centralizar la información del proyecto. En la Figura 9 se observa la organización y almacenamiento de la información dentro de la plataforma, lo cual facilita la gestión de documentos, el seguimiento de incidencias y la comunicación en tiempo real entre los actores del proyecto, reduciendo la necesidad de reuniones presenciales.

Figura 9
Información almacenada en la plataforma BIM 360 (CDE)



Fuente: (Rodríguez Cristóbal, 2024).

C. Metodología:

La investigación siguió un enfoque cuantitativo, de diseño cuasi-experimental, con alcance descriptivo-explicativo. Se definió un grupo de comparación (proyectos ejecutados con metodología convencional) y un grupo de intervención (proyecto ejecutado con metodología BIM), evaluándose los siguientes indicadores:

El ETO (Engineering Time Overrun), que mide el porcentaje de desviación del plazo real versus el plazo contractual; la desviación de costo, entendida como la relación entre el costo final ejecutado y el presupuesto contractual; y la gestión de incidencias, que considera el número, tiempo de respuesta y cierre de interferencias detectadas. Estos indicadores permitieron una comparación objetiva entre ambas metodologías.

El nivel de desarrollo del modelo se estableció bajo el estándar LOD (Level of Development) definido por el BIMForum, clasificando los elementos entre LOD 200 y LOD 350 según la fase del proyecto.

Se adoptó además el Nivel de Información Necesaria (NIN) establecido por la Guía Nacional BIM del Perú (GENBIM), diferenciando el Nivel de Detalle Geométrico (NDG) del Nivel de Información (NI) para cada componente del sistema eléctrico, lo que garantizó la coherencia y calidad de los datos incorporados en el modelo.

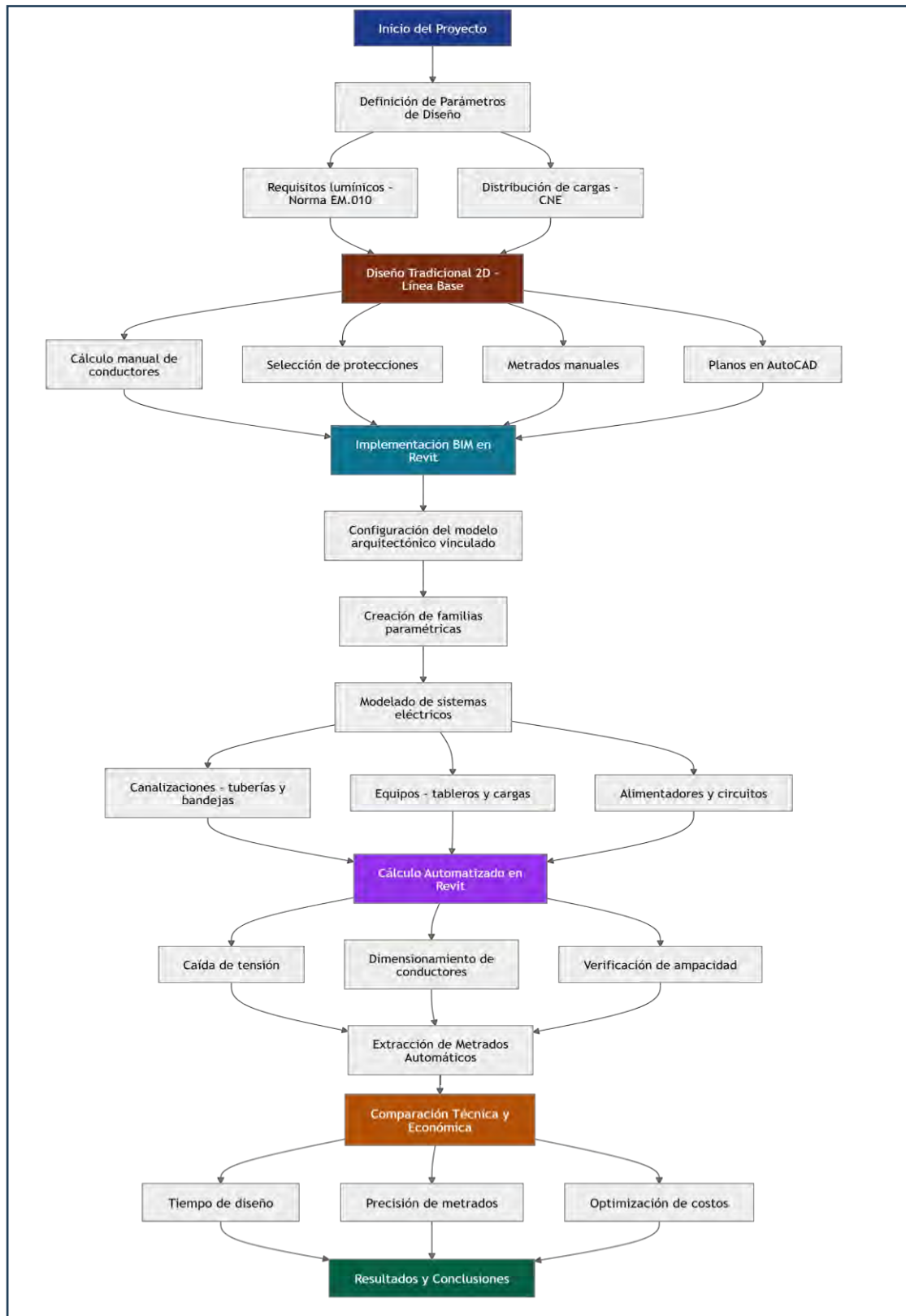
Para la comparativa de plazo y costo, se recopiló información histórica de 15 proyectos de mejoramiento de redes ejecutados con metodología convencional en la región, estableciendo así una línea base estadística representativa.

Esta línea base permitió contar con un referente confiable para la evaluación del desempeño del proyecto BIM.

El proyecto BIM se comparó contra esta línea base, permitiendo cuantificar las mejoras obtenidas en términos de reducción de plazos, optimización de costos y eficiencia en la gestión de incidencias.

Figura 10

Flujo BIM Detallado – (Rodríguez Cristóbal, 2024) (Enfoque Técnico Optimizado)



Fuente: (Rodríguez Cristóbal, 2024).

El flujo evidencia la transición desde el diseño eléctrico tradicional hacia un entorno BIM, partiendo de parámetros normativos (CNE y EM.010) que sirven como base común.

A partir de ello, se distinguen dos enfoques: el método tradicional en 2D, basado en cálculos y metrados manuales, y el enfoque BIM, que integra el modelado tridimensional con información paramétrica en Revit.

El principal aporte del BIM radica en la automatización de cálculos eléctricos, como la caída de tensión y el dimensionamiento de conductores, mejorando la precisión y reduciendo errores.

Asimismo, permite la generación automática de metrados y presupuestos, optimizando tiempos y garantizando coherencia en la documentación. Además, la integración con herramientas como Navisworks facilita la detección de interferencias entre disciplinas. En conjunto, el flujo demuestra que BIM supera al método tradicional al ofrecer mayores beneficios en tiempo, costos y calidad, consolidándose como una herramienta integral para el diseño y gestión de proyectos eléctricos.

D. Normativas y Guías Utilizadas:

La implementación se sustentó en el siguiente marco normativo y técnico:

El Decreto Legislativo N.º 1444 (2018) modificó la Ley de Contrataciones del Estado para incorporar el uso del Building Information Modeling (BIM) en todas las obras públicas financiadas con recursos del Estado peruano, estableciendo así un mandato legal para su implementación progresiva.

Posteriormente, el Decreto Supremo N.º 289-2019-EF desarrolló disposiciones reglamentarias que permiten incorporar gradualmente BIM en las inversiones públicas, definiendo el marco del Plan BIM Perú 2021-2030 como hoja de ruta nacional.

En el ámbito técnico, la Guía Nacional BIM (GENBIM) publicada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) en 2021 define los Usos BIM, el Nivel

de Información Necesaria (NIN), los roles específicos de los actores BIM y las fases del ciclo de inversión aplicables a los proyectos públicos.

Complementariamente, la especificación BIMForum LOD Specification 2021 establece los niveles de desarrollo (Level of Development - LOD) de los elementos del modelo, desde LOD 100 hasta LOD 500, según las fases de diseño, construcción y entrega del proyecto.

A nivel internacional, las normas ISO 19650-1 e ISO 19650-2 constituyen el estándar global para la gestión de información en construcción mediante BIM, definiendo el Entorno Común de Datos (CDE) y los flujos de información entre los diferentes actores del proceso. En paralelo, para el diseño de redes de distribución eléctrica en el Perú.

El Código Nacional de Electricidad (CNE) proporciona el marco técnico normativo aplicable a redes de 22.9 kV, incluyendo parámetros de diseño de postes, conductores y distancias de seguridad. Finalmente, la Norma DGE del Ministerio de Energía y Minas (MEM) establece las normas técnicas específicas para el diseño y construcción de sistemas de distribución eléctrica en media tensión, complementando así el conjunto regulatorio sectorial.

Figura 11

Línea del tiempo marco normativo (2018-2021)



Fuente: Adaptado de plan BIM.

E. Aportes:

Los principales aportes de esta investigación al campo de la ingeniería eléctrica y la metodología BIM son los siguientes:

Reducción comprobada del plazo de ejecución: La comparativa cuantitativa entre la metodología convencional y la BIM demostró que el proyecto BIM presentó un menor ETO (Engineering Time Overrun), confirmando que la coordinación temprana mediante el modelo 3D y el CDE reduce las demoras por interferencias y retrabajos en campo. Esta reducción se tradujo en una ejecución más ágil y eficiente del proyecto.

Reducción del costo final del proyecto: El análisis comparativo evidenció que el proyecto ejecutado bajo metodología BIM tuvo un costo final más cercano al presupuesto contractual que los proyectos convencionales, gracias al control de metrados automatizado extraído directamente del modelo y la detección preventiva de interferencias. Ello permitió evitar sobrecostos por materiales no previstos o correcciones en obra.

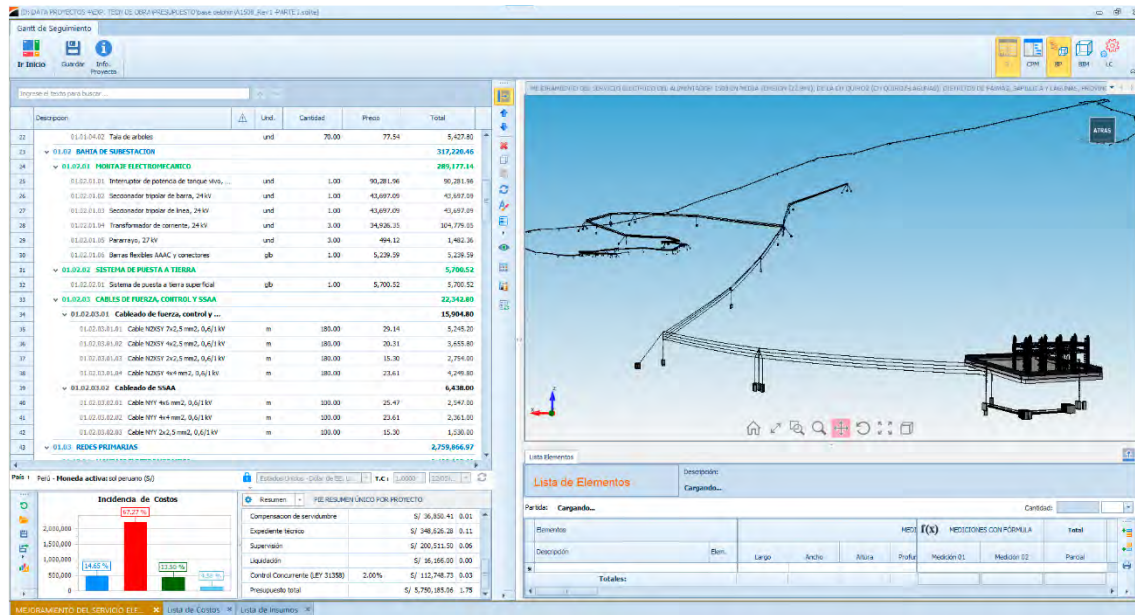
Primer caso documentado de BIM en distribución eléctrica aérea de MT en Perú: La tesis constituye uno de los primeros registros académicos en el país de la aplicación BIM en proyectos de redes aéreas de 22.9 kV, sirviendo como referente metodológico para entidades como el MINEM y concesionarias eléctricas. Este aporte resulta especialmente relevante para impulsar la adopción de BIM en el sector eléctrico nacional.

Automatización de metrados y presupuesto: El modelado en Revit y su exportación en formato IFC permitió extraer automáticamente los metrados de cada elemento de red (postes, conductores, transformadores, armados, entre otros), reduciendo significativamente el error humano en la elaboración del presupuesto de obra.

Como se observa en la Figura 12, el presupuesto generado a partir del modelo BIM garantiza mayor precisión y coherencia respecto a los métodos tradicionales, contribuyendo de manera directa al control de costos del proyecto.

Figura 12

Presupuesto del proyecto en función al modelado IFC



Fuente: (Rodríguez Cristóbal, 2024).

Modelo As-Built digital: Al término de la construcción, el modelo fue actualizado como As-Built, registrando las condiciones reales de instalación de los alimentadores. Este modelo digital queda disponible para la gestión de operación y mantenimiento (O&M) de la concesionaria, representando un avance hacia la dimensión 7D (gestión del activo).

2.3.2. Análisis del Trabajo: Castro-Sanjuan & Cuervo-Giraldo, (2021) – Este estudio fue publicado originalmente en la revista científica Energies (MDPI) en el año 2021

Título: Enfoque basado en BIM para el diseño y la gestión de redes de distribución de Media Tensión: un estudio de caso en una zona de expansión urbana latinoamericana.

Este segundo referente analiza la aplicación de BIM en el diseño y gestión de redes de distribución de media tensión (22.9 kV) en zonas urbanas de expansión en América Latina, contexto en el que la complejidad del trazado subterráneo y aéreo, la variabilidad del terreno y la necesidad de coordinación con otras redes de servicios (agua, gas, telecomunicaciones) hacen que la metodología convencional resulte especialmente

deficiente. El estudio propone un flujo de trabajo BIM integrado que abarca desde el diseño conceptual hasta la supervisión de obra y la entrega del modelo As-Built para la operación de la red.

El sistema de distribución analizado opera a 22.9 kV en configuración trifásica, con alimentadores de entre 8 y 15 km de longitud. Asimismo, incluye subestaciones de distribución tipo caseta de 500 kVA, reconectores, reguladores de tensión y bancos de condensadores, todos modelados con un nivel de detalle LOD 350.

El proyecto se desarrolló en concordancia con los estándares de la empresa distribuidora y los reglamentos técnicos nacionales de distribución eléctrica (Sanjuan y Giraldo, 2021).

A. ¿Cómo se aplicó?

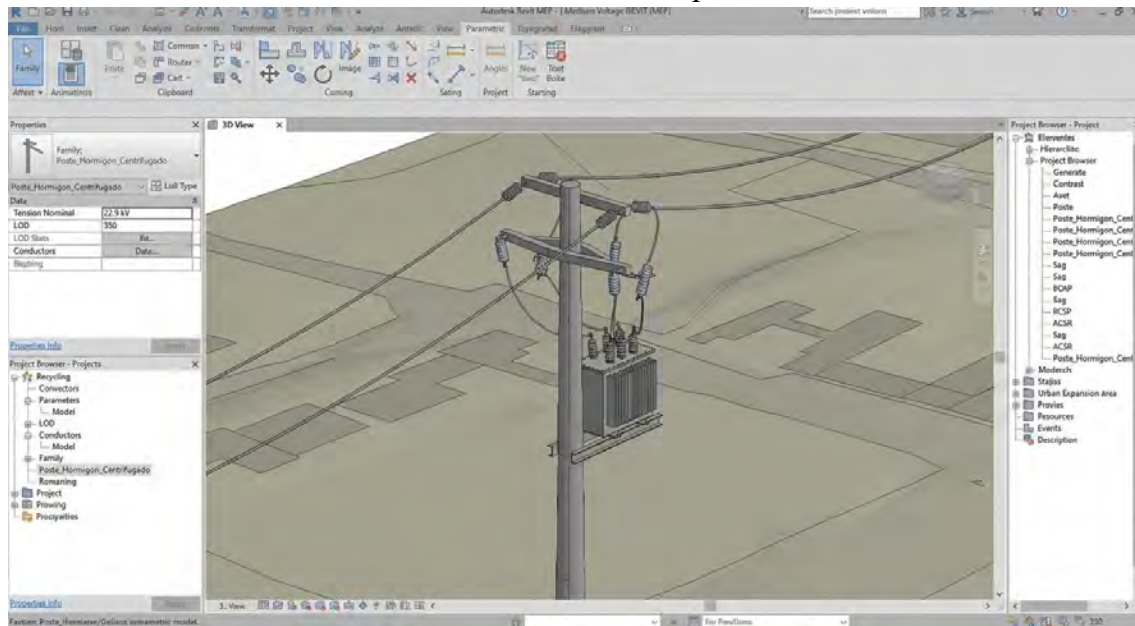
La implementación de BIM se estructuró en cinco fases sucesivas:

1) Captura de datos del terreno mediante topografía satelital y SIG: Se integraron datos del Sistema de Información Geográfica (SIG/GIS) con el modelo BIM para superponer la traza del alimentador MT sobre el modelo de terreno digital (DTM). Se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución y datos LiDAR para zonas con vegetación densa. Este proceso permitió generar un modelo tridimensional del terreno que sirve como base para el diseño del alimentador, facilitando la toma de decisiones en etapas tempranas del proyecto.

2) Modelado paramétrico de elementos de red en Revit MEP: Los componentes del sistema de distribución MT fueron modelados como familias paramétricas en Autodesk Revit. Cada familia incorpora parámetros técnicos reales del elemento, lo que convierte al modelo en un inventario digital del activo. Como se observa en la Figura 13, el modelado de postes de media tensión permite representar sus características geométricas y técnicas, mientras que la Figura 14 evidencia el nivel de detalle alcanzado en el modelado de subestaciones, garantizando coherencia con las condiciones reales de operación.

Figura 13

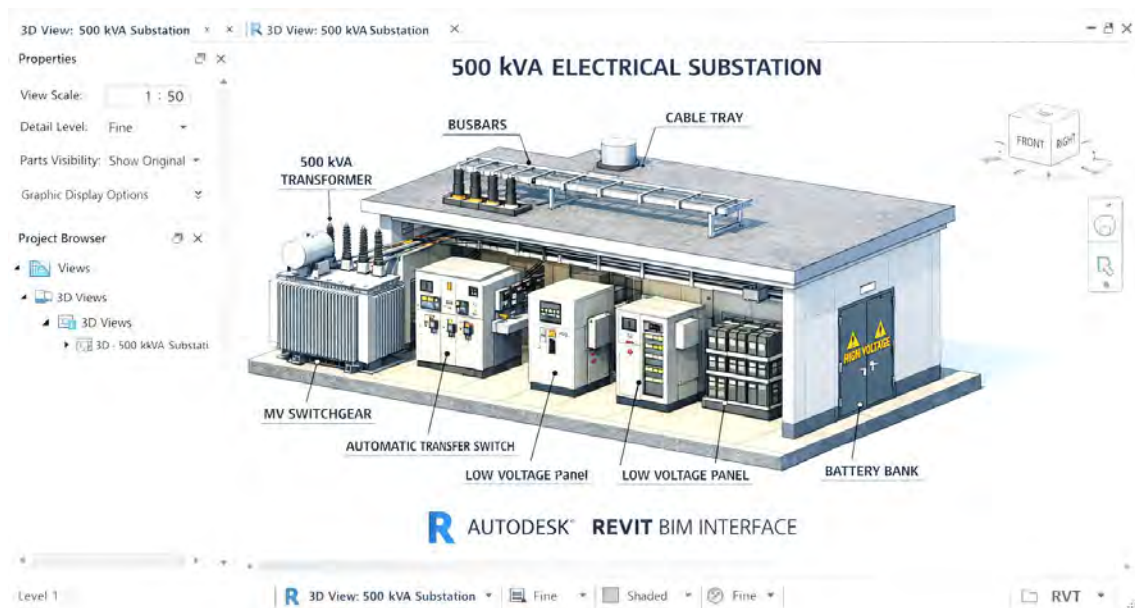
Interfaz de Revit MEP mostrando el modelado de un poste de media tensión



Fuente: (Sanjuan y Giraldo, 2021).

Figura 14

Interfaz de Revit MEP mostrando el modelado de una subestación de 500kVA



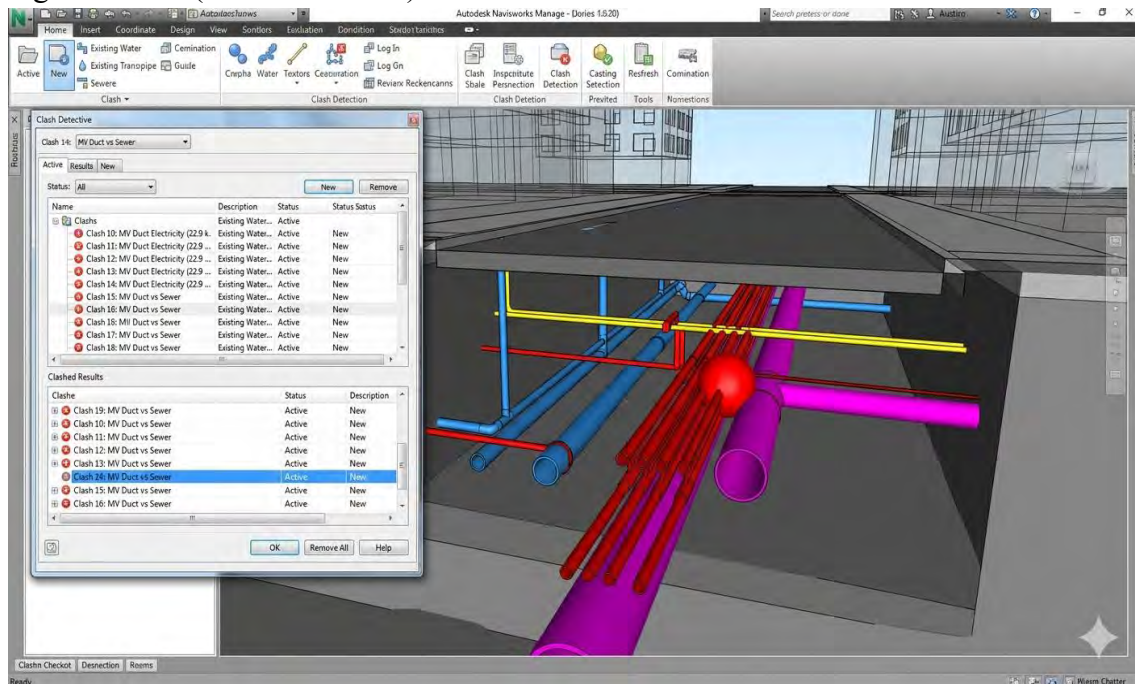
Fuente: (Sanjuan y Giraldo, 2021).

3) Análisis de interferencias y coordinación con infraestructura existente: Mediante Autodesk Navisworks, se realizó la detección de interferencias entre los elementos del alimentador MT y la infraestructura existente. Tal como se muestra en la Figura 15, el

uso de la herramienta Clash Detective permite identificar conflictos espaciales antes de la construcción, reduciendo retrabajos y optimizando la coordinación entre disciplinas.

Figura 15

Interfaz de Navisworks Manage mostrando la detección de una interferencia reglamentaria (Clash Detective)



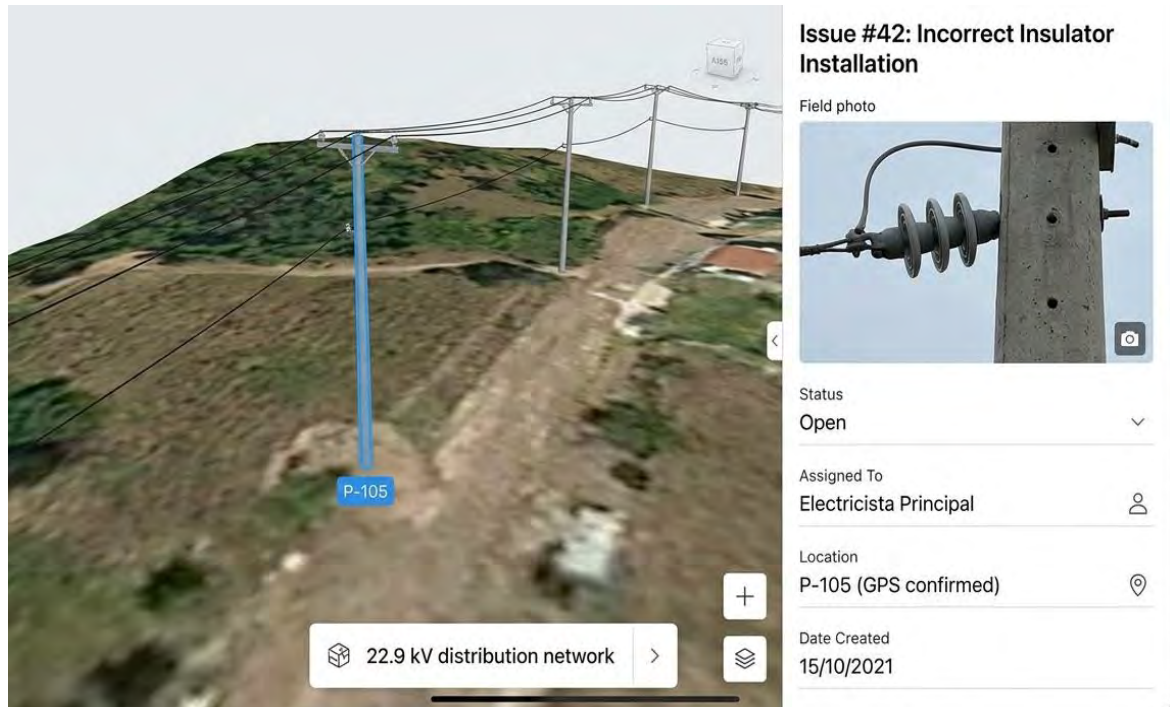
Fuente: (Sanjuan y Giraldo, 2021).

4) Simulación 4D y planificación de interrupciones de suministro: El modelo 3D se vinculó al cronograma de construcción mediante el software Synchro PRO para generar la simulación 4D. A diferencia de proyectos convencionales, esta simulación permitió planificar con precisión las ventanas de interrupción del suministro eléctrico para las maniobras de conexión y desconexión de los alimentadores existentes, minimizando el tiempo de corte para los clientes regulados.

5) Plataforma CDE y supervisión digital de obra: Se implementó Autodesk Construction Cloud como entorno común de datos. En la Figura 16 se observa el uso de dispositivos móviles en campo para el registro de avances, lo que permite una supervisión digital en tiempo real y mejora la trazabilidad de las incidencias durante la ejecución del proyecto.

Figura 16

Vista de tableta en Autodesk Construction Cloud (ACC) utilizada en campo.



Fuente: (Sanjuan y Giraldo, 2021).

B. Metodología:

El estudio adoptó un enfoque de investigación aplicada con diseño de caso de estudio (case study research), evaluando el desempeño del flujo de trabajo BIM mediante indicadores clave de rendimiento (KPI) definidos al inicio del proyecto. Los KPI monitoreados fueron:

La reducción de RFI (Requests for Information) se mide como la disminución del número de consultas técnicas formales durante la construcción, en comparación con proyectos similares ejecutados mediante métodos convencionales.

Este indicador refleja la mejora en la claridad y completitud de la información entregada desde el modelo BIM. De manera complementaria, la reducción de NCR (Non-Conformance Reports) cuantifica el menor número de no conformidades detectadas en obra, constituyéndose como un indicador directo de la calidad de la ingeniería de detalle desarrollada previamente en el entorno virtual.

El Clash Detection Rate representa el porcentaje de interferencias detectadas en etapa de diseño frente a aquellas que finalmente se manifiestan en obra. Un valor alto indica una eficaz validación temprana de la coordinación entre especialidades, evitando costosos retrabajos.

Asimismo, la reducción del tiempo de elaboración de planos se obtiene comparando el tiempo requerido para generar los planos constructivos desde el modelo BIM con el tiempo empleado bajo el método CAD convencional, evidenciando las ganancias en automatización y consistencia documental.

Finalmente, la precisión de metrados se expresa como la desviación porcentual entre los metrados extraídos automáticamente del modelo BIM y los metrados efectivamente verificados en obra al término de la construcción. Una menor desviación demuestra la fiabilidad del modelo como fuente de información cuantitativa para la gestión de costos y adquisiciones.

En conjunto, estos indicadores permiten evaluar de manera integral el desempeño del enfoque BIM, evidenciando mejoras en la calidad del diseño, la reducción de errores en obra y la optimización de los procesos constructivos frente a la metodología convencional.

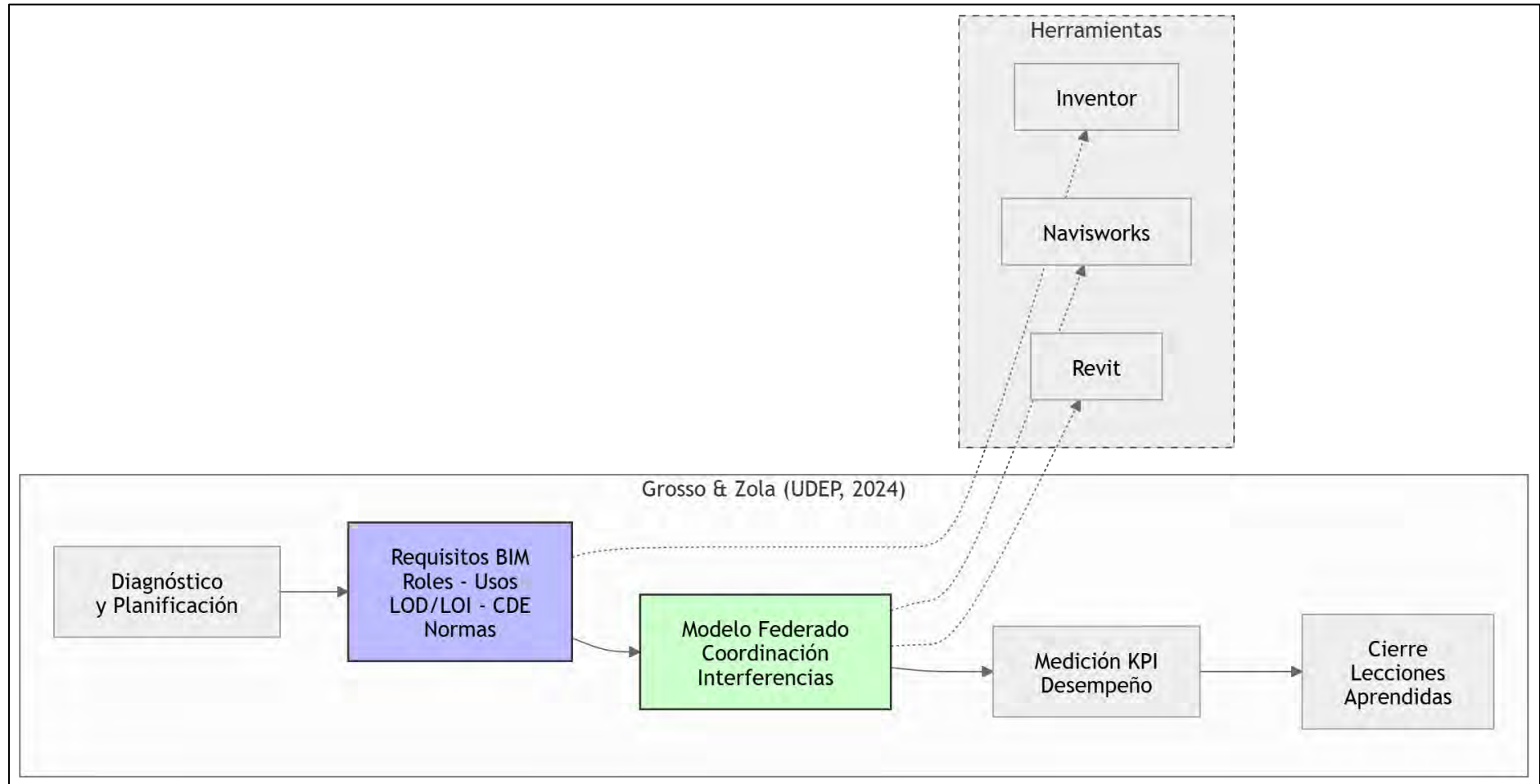
Como complemento metodológico, la Figura 17 que presenta un procedimiento de cinco fases (Diagnóstico → Requisitos de Información → Modelo Federado → Medición → Cierre) claramente alineado a la norma ISO 19650 y a la Guía Nacional BIM del Perú.

A diferencia de otros trabajos centrados solo en la comparativa técnica CAD vs. BIM, este enfoque prioriza la gestión de la información sobre el mero modelado geométrico.

La fase más relevante es la de "Requisitos de Información", donde se definen los roles BIM, los niveles LOD/LOI para cada componente, el Entorno Común de Datos (CDE) con nomenclatura estandarizada, y las normativas aplicables.

Figura 17

Diagrama de flujo para (Sanjuan y Giraldo, 2021).



Fuente: Grosso & Zola (2024).

Para la dimensión técnica del modelado, se adoptó el Level of Development (LOD) del BIMForum, con LOD 300 para la etapa de ingeniería básica, LOD 350 para ingeniería de detalle y LOD 400 para fabricación de componentes prefabricados (celdas de media tensión).

El intercambio de modelos entre plataformas se realizó mediante el formato abierto IFC 4.0, garantizando la interoperabilidad entre Revit (modelado), Navisworks (coordinación) y SAP PM (mantenimiento).

Se aplicó además la metodología de Lean Construction para la planificación de las fases de construcción, integrando BIM con el Last Planner System para la programación semanal de frentes de trabajo.

Las reuniones de coordinación BIG ROOM se realizaron semanalmente con la participación de proyectistas, constructores y supervisores, usando el modelo 3D como herramienta central de discusión.

C. Normativas y Guías Utilizadas:

En el ámbito de la gestión de la información, las normas ISO 19650-1 e ISO 19650-2 regulan la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de los activos construidos mediante BIM. Estas normas establecen los requisitos del Entorno Común de Datos (CDE), la nomenclatura estandarizada de archivos y el flujo de aprobación de documentos, garantizando la trazabilidad y gobernanza de la información.

Por su parte, las normas IEC 61968 e IEC 61970 constituyen referentes internacionales para la integración de sistemas de información en empresas de distribución eléctrica, proporcionando las bases para lograr la interoperabilidad entre el modelo BIM y los sistemas SCADA/GIS de la distribuidora.

En materia eléctrica, la Norma Técnica Colombiana (NTC) junto con el Reglamento RETIE establece los requisitos técnicos y de seguridad para el diseño de redes de distribución en media tensión.

Adicionalmente, el RETD – Reglamento de Distribución (según el país de aplicación) define el marco técnico específico para sistemas de distribución eléctrica en 22.9 kV, incluyendo tensiones de diseño, criterios de confiabilidad como N-1, y niveles de cortocircuito permitidos.

En cuanto a estándares BIM complementarios, la especificación BIMForum LOD Specification 2022 define el nivel de desarrollo geométrico e informacional que deben alcanzar los elementos del modelo en cada fase del proyecto.

Para el contexto específico de una concesionaria eléctrica, los Estándares BIM de la empresa distribuidora establecen el protocolo BIM interno, definiendo la nomenclatura de familias Revit para redes de media tensión, los parámetros mínimos requeridos para cada elemento y las reglas de entrega del modelo As-Built.

Finalmente, los documentos AIA E203 y G202 proporcionan un protocolo de ejecución BIM (BIM Execution Plan - BEP), adoptado del estándar estadounidense AIA, para estructurar formalmente los roles, responsabilidades y entregables del equipo BIM a lo largo del proyecto.

El Plan de Ejecución BIM (BEP) del proyecto definió explícitamente los usos BIM habilitados para cada fase: (i) Diseño existente — captura de condiciones, (ii) Ingeniería de detalle — coordinación 3D, (iii) Construcción — simulación 4D y seguimiento de obra, (iv) Entrega — modelo As-Built y gestión de activos (dimensión 7D).

D. Aportes:

Los aportes de este referente a la práctica profesional y la academia en el campo de los sistemas de distribución MT son:

Flujo de trabajo BIM-GIS integrado para redes eléctricas:

El estudio aporta una metodología replicable para integrar los datos SIG existentes de la empresa distribuidora con el entorno BIM, eliminando la doble digitación de información geoespacial.

Esta integración permite que el modelo BIM sea continuación directa de la cartografía eléctrica oficial de la concesionaria.

Familias BIM paramétricas para componentes de red MT 22.9 kV:

La investigación desarrolló y validó una biblioteca de familias Revit específicas para sistemas de distribución aérea en MT, incluyendo postes, armados normalizados, transformadores de distribución y seccionadores.

Estas familias, al estar parametrizadas con los atributos técnicos reales, permiten la extracción directa de listados de materiales y órdenes de compra, acelerando la etapa de abastecimiento.

Reducción del 78% en interferencias detectadas en obra:

Los resultados cuantitativos demostraron que la coordinación previa mediante Clash Detection en Navisworks detectó el 78% de las interferencias en la etapa de diseño, reduciendo drásticamente las paralizaciones en campo por conflictos con infraestructura subterránea existente no registrada en planos convencionales.

Precisión de metrados superior al 97%: La extracción de metrados directamente del modelo BIM presentó una desviación menor al 3% respecto a los metrados reales medidos en obra, frente a desviaciones del 8-15% típicamente observadas con metodología CAD convencional. Esto impacta directamente en la precisión del presupuesto y la reducción de adicionales de obra.

Modelo de información para gestión de activos (AM/7D): El modelo As-Built entregado a la concesionaria fue integrado con el sistema SAP PM (Plant Maintenance) para la gestión de mantenimiento preventivo de los activos de red.

Cada elemento del modelo contiene el código SAP del activo correspondiente, habilitando la consulta directa del historial de intervenciones desde el modelo 3D. Este aporte constituye el primer paso hacia la gemela digital (Digital Twin) del alimentador.

Metodología para planificación de interrupciones de suministro:

El uso de la simulación 4D para planificar las ventanas de maniobra redujo el tiempo de interrupción de suministro en un 35% respecto a la planificación convencional, mejorando el indicador SAIDI (System Average Interruption Duration Index) de la concesionaria durante la fase de construcción.

Marco de implementación BIM adaptado para pequeñas y medianas concesionarias:

El estudio concluye con un marco de implementación BIM escalonado, diseñado para que empresas distribuidoras con recursos limitados puedan adoptar BIM progresivamente, iniciando por los usos de mayor retorno inmediato (coordinación 3D y metrados) antes de avanzar hacia usos más complejos (simulación 4D y gestión de activos).

2.3.3. Conclusión del Estado del Arte

Ambos antecedentes demuestran que la metodología BIM ofrece beneficios tangibles y cuantificables en proyectos de sistemas de distribución eléctrica de media tensión en 22.9 kV, con impactos positivos en la calidad de la ingeniería de detalle, la reducción de interferencias, el control de costos y plazos, y la gestión del ciclo de vida de los activos.

La presente tesis toma como base estos referentes para estructurar la propuesta de implementación BIM en la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del Distrito de Espinar, Cusco, adaptando el flujo de trabajo al contexto normativo peruano (GENBIM) y a las características técnicas del sistema eléctrico regional.

La revisión evidencia además que el uso de Autodesk Revit como plataforma de modelado, Navisworks para coordinación y detección de interferencias, y BIM 360 / Autodesk Construction Cloud como CDE constituyen el ecosistema tecnológico más adoptado en proyectos de distribución eléctrica BIM en América Latina, justificando su elección para el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LAS LIMITACIONES DEL DISEÑO 2D EN EL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN DEL COMPLEJO DEPORTIVO DE ESPINAR

3.1. Introducción

En este capítulo se analizan las limitaciones del diseño en 2D del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo de Espinar, estructurado en tres ejes principales.

Primero, se examinan las deficiencias en la precisión del diseño, evidenciadas en la representación de componentes complejos, la omisión de insumos menores (pernos, tuercas, arandelas), las imprecisiones en cables subterráneos y las discrepancias dimensionales críticas, como el caso del apoyo para contrapunta (1.20 m en plano vs 1.54 m reales).

Segundo, se identifican las limitaciones para detectar interferencias con el entorno y verificar distancias de seguridad, analizando el Punto de Derivación, las interferencias no detectadas con el Centro de Salud, las limitaciones en redes aéreas y subterráneas, y la disposición interna de la subestación.

Tercero, se cuantifica el impacto de las inexactitudes del diseño 2D en los metrados y el presupuesto, identificando componentes no contemplados, discrepancias dimensionales y el impacto económico total estimado en S/ 60,025.55.

3.2. Limitaciones del diseño 2D en la precisión del proyecto

3.2.1. Deficiencias en la precisión de componentes complejos.

El diseño inicial del alimentador de media tensión para el Complejo Deportivo de Espinar, realizado en 2D, presenta limitaciones críticas en la representación de componentes complejos, como armados especiales, estructuras de retención y equipos de protección. Estas limitaciones dificultan la correcta interpretación del proyecto por parte de los equipos de construcción y supervisión, generando espacios de incertidumbre técnica que afectan la calidad del diseño.

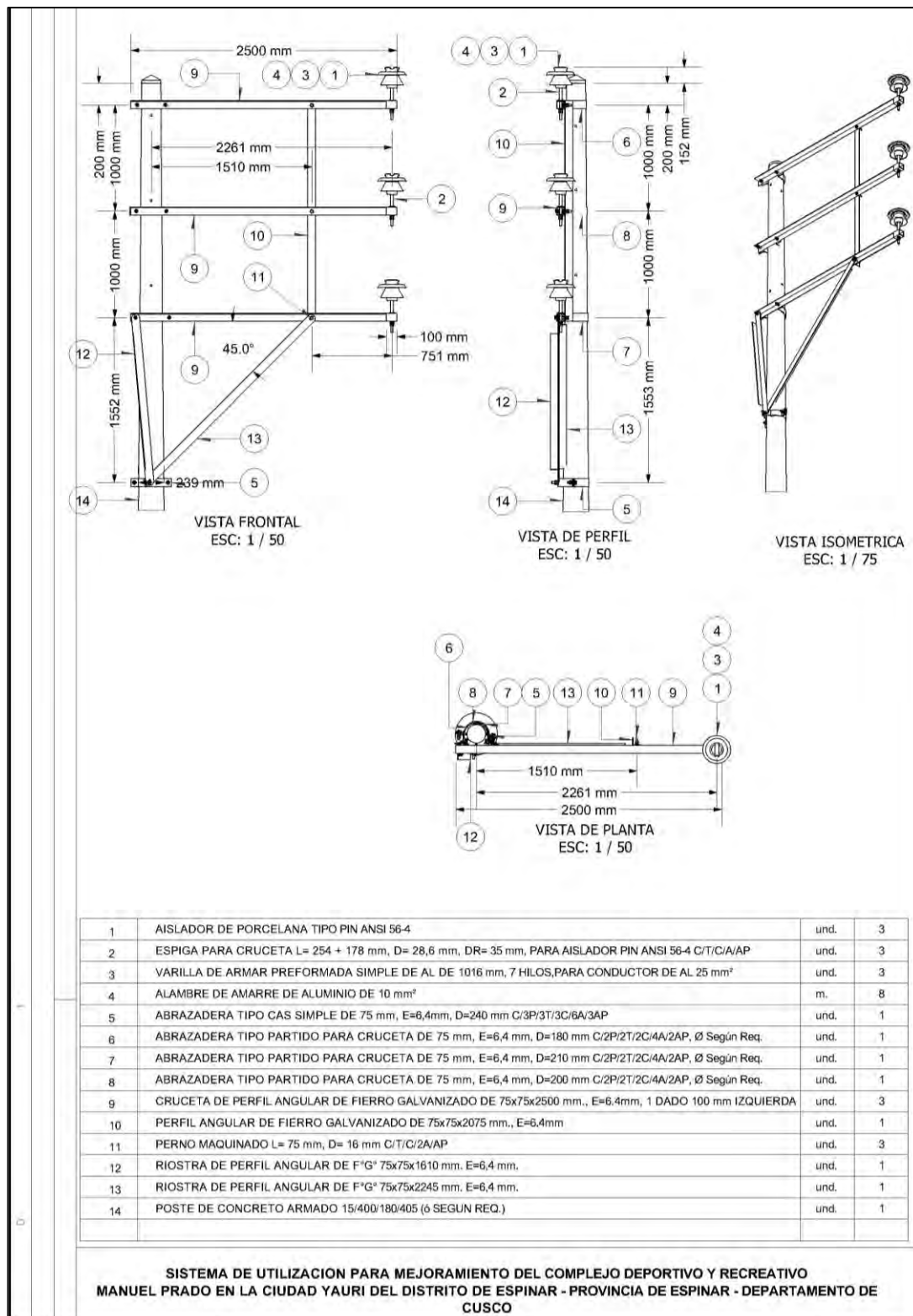
Un caso representativo es el armado tipo ATBV1, que incluye crucetas y aisladores, cuyo ensamblaje requiere una coordinación dimensional precisa entre sus elementos constituyentes. La ausencia de una vista tridimensional impide apreciar cómo interactúan estas piezas entre sí y con el poste que las soporta. En los planos bidimensionales, estos elementos se representan mediante líneas y símbolos convencionales que no permiten validar su compatibilidad dimensional con los postes de concreto, ni verificar el espacio real requerido para su correcta instalación en campo. Esta falta de detalle tridimensional introduce incertidumbre técnica desde la fase temprana del diseño. Por ejemplo, las abrazaderas para crucetas, con diámetros de 200 a 220 mm, se describen en las tablas como ('Ø según requerimiento de poste'), sin especificar si dichas medidas son compatibles con el tipo de poste y armado proyectado.

Esta ambigüedad en las especificaciones técnicas es una práctica recurrente en proyectos licitados por la empresa concesionaria Electro Sur Este, donde los planos de detalles y metrados suelen incluir cláusulas genéricas como la mencionada (Figura 18).

Como consecuencia de esta ambigüedad, la validación dimensional y funcional de los componentes se refleja en la etapa de montaje, incrementando considerablemente el riesgo de incompatibilidades, retrasos en el cronograma de ejecución y la aparición de costos adicionales por ajustes no previstos en el presupuesto original. Esta situación evidencia la necesidad de adoptar herramientas que permitan una visualización más realista y una validación temprana de los componentes del sistema eléctrico, antes de que los planos sean aprobados y enviados a obra

Figura 18

Armado ATBVI en configuración vertical para cables de media tensión, con el cumplimiento de distancias de seguridad



Fuente: Plano de Detalle 2D - En la figura se observa la vista frontal del armado ATBVI.

Con BIM, estos problemas se habrían evitado. Al construir un modelo en tres dimensiones donde cada elemento tiene sus medidas y características, es posible ver cómo encajan las piezas antes de mandarlas a fabricar.

3.2.2. Omisión de insumos menores (pernos, tuercas, arandelas) en planos 2D.

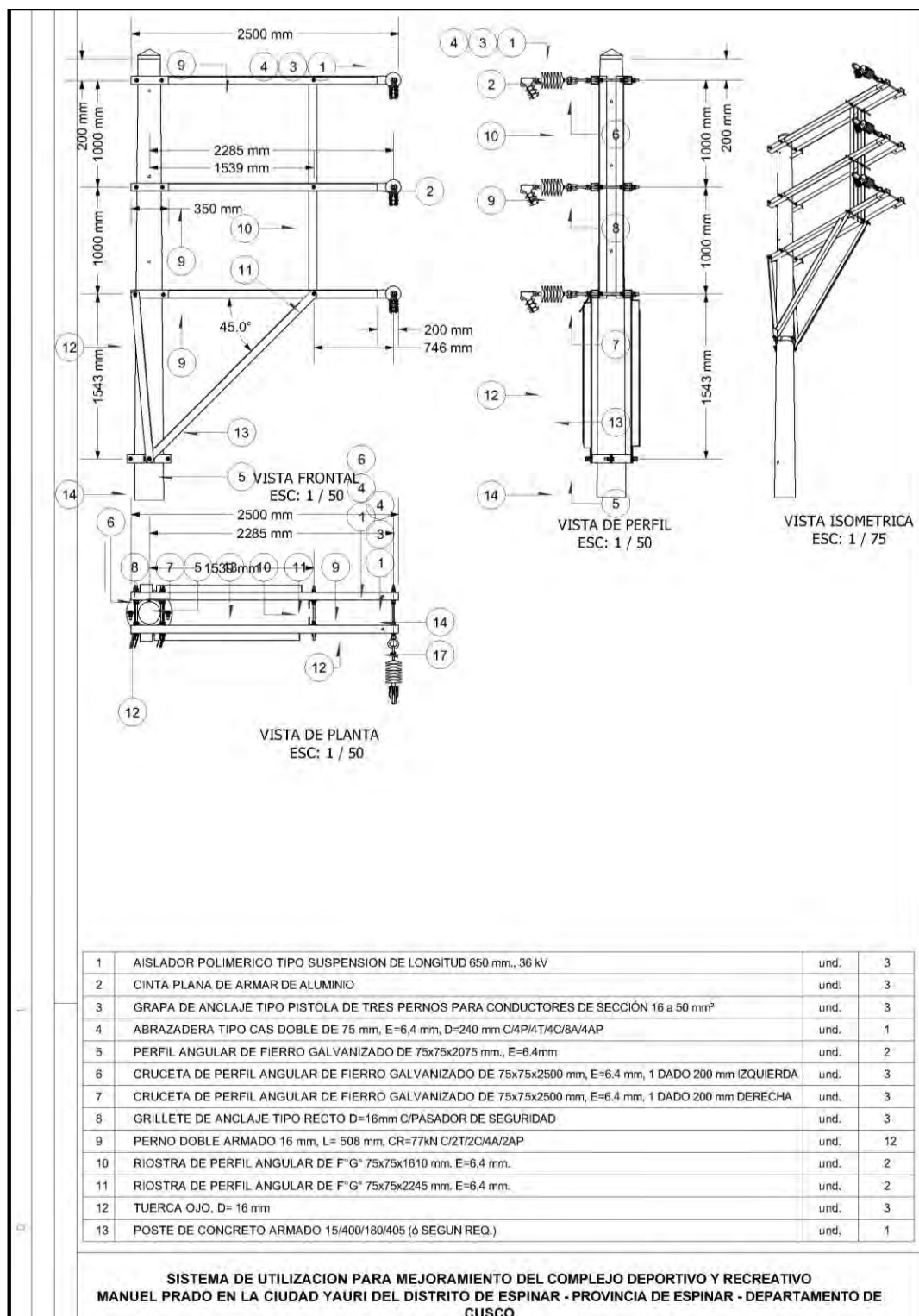
El diseño tradicional en 2D, al basarse en la representación simbólica de los componentes eléctricos, presenta una limitación recurrente: la omisión o representación genérica de los elementos de fijación y conexión menores. En los planos elaborados con AutoCAD, el enfoque principal se centra en la geometría de los componentes estructurales del armado, tales como postes, crucetas, aisladores, seccionadores y conductores. Los elementos de menor tamaño pernos maquinados, tuercas hexagonales, arandelas planas y de presión, espigas roscadas, grilletes de anclaje y conectores diversos suelen ser omitidos del dibujo o se indican mediante notas generales del tipo "según requerimiento" o "incluye ferretería de montaje".

Esta práctica, aunque común en el entorno CAD, genera una brecha significativa entre lo que se representa en los planos y lo que realmente se requiere en campo para materializar el armado. La razón de esta omisión es práctica: en el dibujo 2D, representar cada perno, cada tuerca y cada arandela en su posición exacta dentro del armado implicaría un nivel de detalle que vuelve los planos densos, difíciles de leer y excesivamente laboriosos de producir. Por ello, los proyectistas optan por una representación simplificada, donde la ferretería menor se incluye de manera agregada en las listas de materiales o simplemente se asume que será provista por el contratista sin una cuantificación precisa.

En el proyecto del Complejo Deportivo de Espinar, esta limitación se evidenció de manera clara en el armado ATBV5 (fin de línea), cuya representación en los planos 2D se muestra en la Figura 19. En esta lámina, los elementos de fijación menores tuercas, arandelas, espigas aparecen dibujados sin especificación dimensional exacta y sin una cuantificación desagregada que permita conocer cuántas unidades de cada tipo se requieren por cada armado instalado. La información se limita a una lista genérica de componentes donde no se discrimina la cantidad de pernos, la longitud de cada uno, el diámetro de las tuercas o el tipo de arandela según la posición en el armado.

Figura 19

Plano 2D del armado ATBV5 (fin de línea) en vista frontal y de planta, con elementos de fijación menores



Fuente: Los planos evidencian los elementos de fijación menores (tuercas, arandelas, espigas) aparecen sin detalle dimensional exacto.

Con un modelo BIM bien hecho no queda más remedio que dibujar cada pieza que forma parte del conjunto. Si se quiere representar, por ejemplo, la unión de una abrazadera con un perno, el programa pide que se indique con exactitud el largo y el grueso del perno, y que se agreguen también las tuercas y las arandelas necesarias.

Trabajando así, el equipo de diseño se da cuenta a tiempo si falta algo o si hay problemas de medidas, y puede corregirlos antes de que se conviertan en errores en la obra.

3.2.3. Imprecisiones en el detalle de instalación de cables subterráneos

Como se aprecia en la Figura 20, el detalle 2D muestra la instalación de cables de MT enterrados bajo pistas de ingreso vehicular, indicando los siguientes elementos: cinta señalizadora para cable de MT, ladrillo mecanizado de 18 huecos, arena fina, ducto de concreto de 0.40 x 0.24 x 1.00 m (9 cm de diámetro), cables de energía de MT, solado de concreto $f_c=140 \text{ kg/cm}^2$, y tierra natural compactada. Sin embargo, esta representación presenta las siguientes imprecisiones:

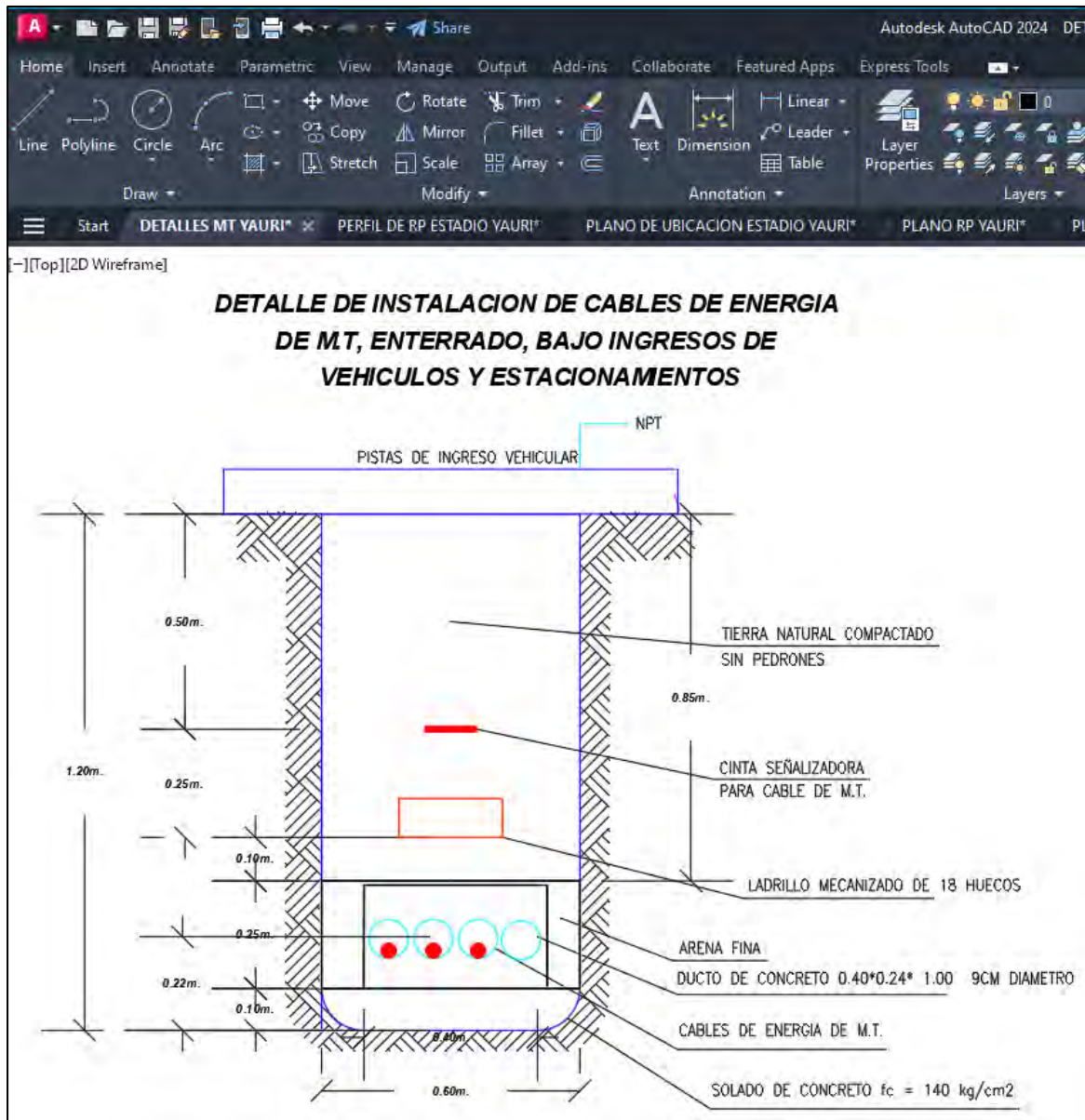
Falta de precisión en dimensiones: El ducto de concreto se especifica con dimensiones 0.40 x 0.24 x 1.00 m, pero no se indica si estas medidas son internas o externas, ni el espesor de las paredes del ducto. Tampoco se especifica la separación entre ductos cuando hay múltiples cables, ni la distancia mínima a otros servicios (agua, desagüe, gas). Falta de precisión en profundidad: No se indica la profundidad de instalación desde el nivel de pista terminado (NPT) hasta el lomo de los cables.

Falta de precisión en materiales: El ladrillo mecanizado de 18 huecos se menciona sin especificar su resistencia mecánica, dimensiones exactas ni el traslape entre piezas. La arena fina no especifica su granulometría, ni el espesor de capa superior e inferior a los ductos. La cinta señalizadora no indica su ancho, color (debe ser roja para media tensión), ni la profundidad de instalación respecto al nivel del terreno.

Falta de precisión en el relleno: No se especifica el tipo de material de relleno sobre los ladrillos (puede ser material seleccionado, suelo cemento o concreto pobre), ni el grado de compactación requerido para soportar cargas vehiculares.

Figura 20

Detalle 2D de instalación de cables de MT enterrado, sin especificaciones precisas de dimensiones y materiales



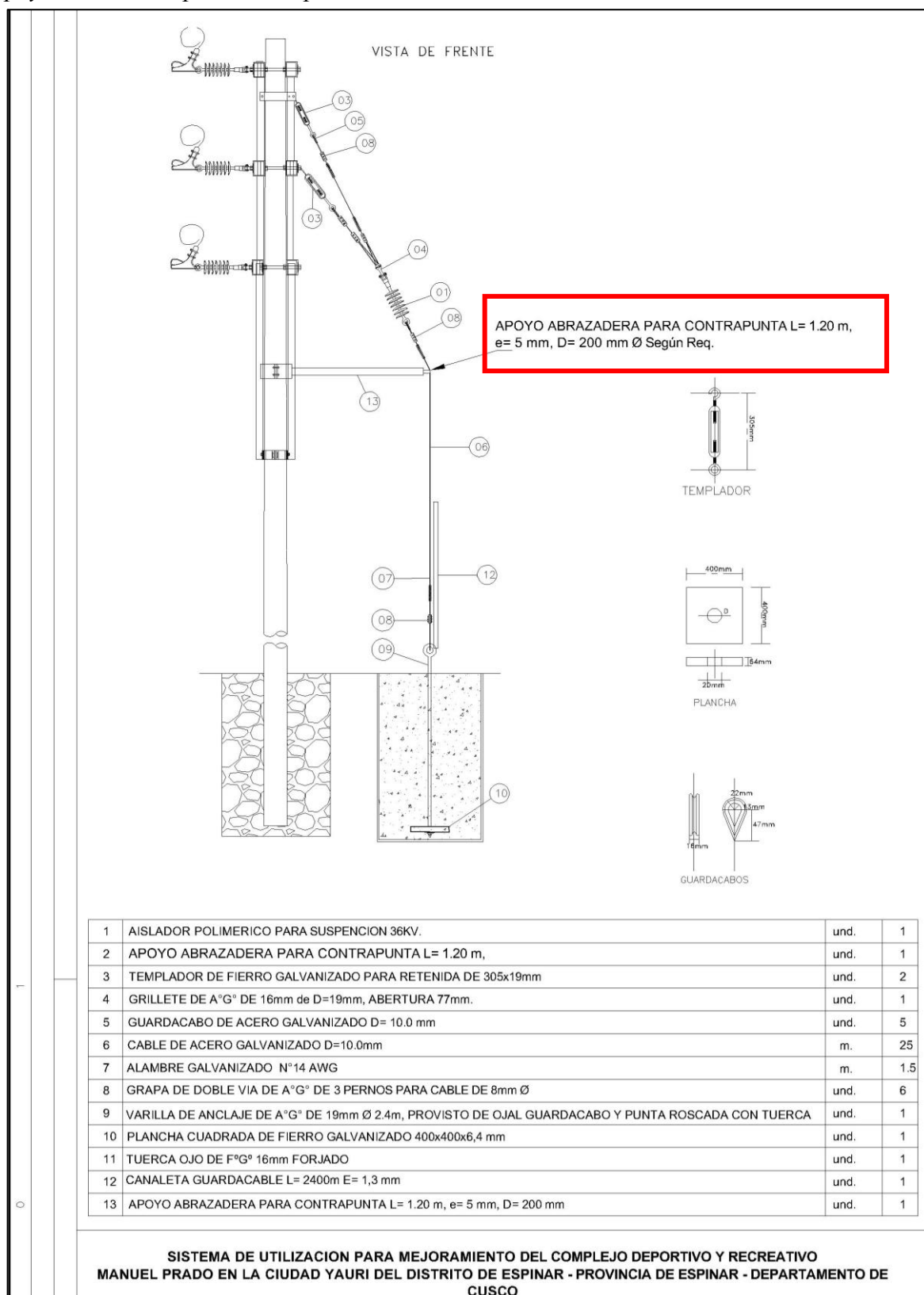
Fuente: Elaboración propia basada en el Plano del Complejo Deportivo, Autocad.

3.2.4. Discrepancias en las longitudes de componentes

Una deficiencia es la falta de precisión en las dimensiones de ciertos componentes, lo que provoca diferencias entre lo proyectado y lo requerido en campo. En el presente proyecto, el caso más evidente se presenta en el apoyo abrazadera para contrapunta, cuya longitud (L) se especifica en el plano como 1,20 m. Sin embargo, en la verificación, se determinó que la longitud real necesaria para un ajuste correcto era de 1,54 m, una diferencia de 0,34 m.

Figura 21

Vista frontal del armado de retenida aislada vertical en Y, con especificación ambigua del apoyo abrazadera para contrapunta



Fuente: Elaboración propia basada en el Plano armado de retenida aislada vertical en Y.

Si se hubiera trabajado con un modelo BIM, esa diferencia de medidas se habría notado antes de mandar a hacer las piezas.

Al poder simular el armado en la computadora, se habrían podido comparar las medidas de cada elemento con las de la estructura y con las condiciones del terreno, evitando tener que andar corrigiendo cosas cuando la obra ya estaba en marcha.

3.3. Limitaciones del diseño 2D en la detección de interferencias con el entorno y distancias de seguridad

3.3.1. Interferencias en el Punto de Derivación

El diseño en 2D se presenta limitaciones para verificar la compatibilidad espacial entre el nuevo alimentador y la infraestructura existente en el Punto de Derivación, lugar donde el nuevo suministro se conecta a la red de media tensión existente.

En el proyecto del Complejo Deportivo de Espinar, el Punto de Derivación se ubicó en el armado trifásico existente AT1, que funciona como nodo de derivación de la red de media tensión (22.9 kV).

Como se aprecia en la Figura 22, el diseño 2D del Punto de Derivación presenta serias deficiencias para determinar la viabilidad de la conexión.

El armado AT1 se representa mediante símbolos convencionales como círculos y líneas, que no reflejan las dimensiones reales del poste ni de los equipos existentes.

No se indican las distancias entre los equipos actuales ni el espacio libre disponible para instalar los nuevos componentes.

Además, al no contar con una vista tridimensional, no es posible apreciar la altura real del poste ni la disposición vertical de los equipos, aspectos clave para verificar si hay espacio suficiente para la nueva derivación.

Plano 2D del Punto de Derivación en el armado existente AT1, donde no es posible verificar el espacio disponible para la nueva conexión

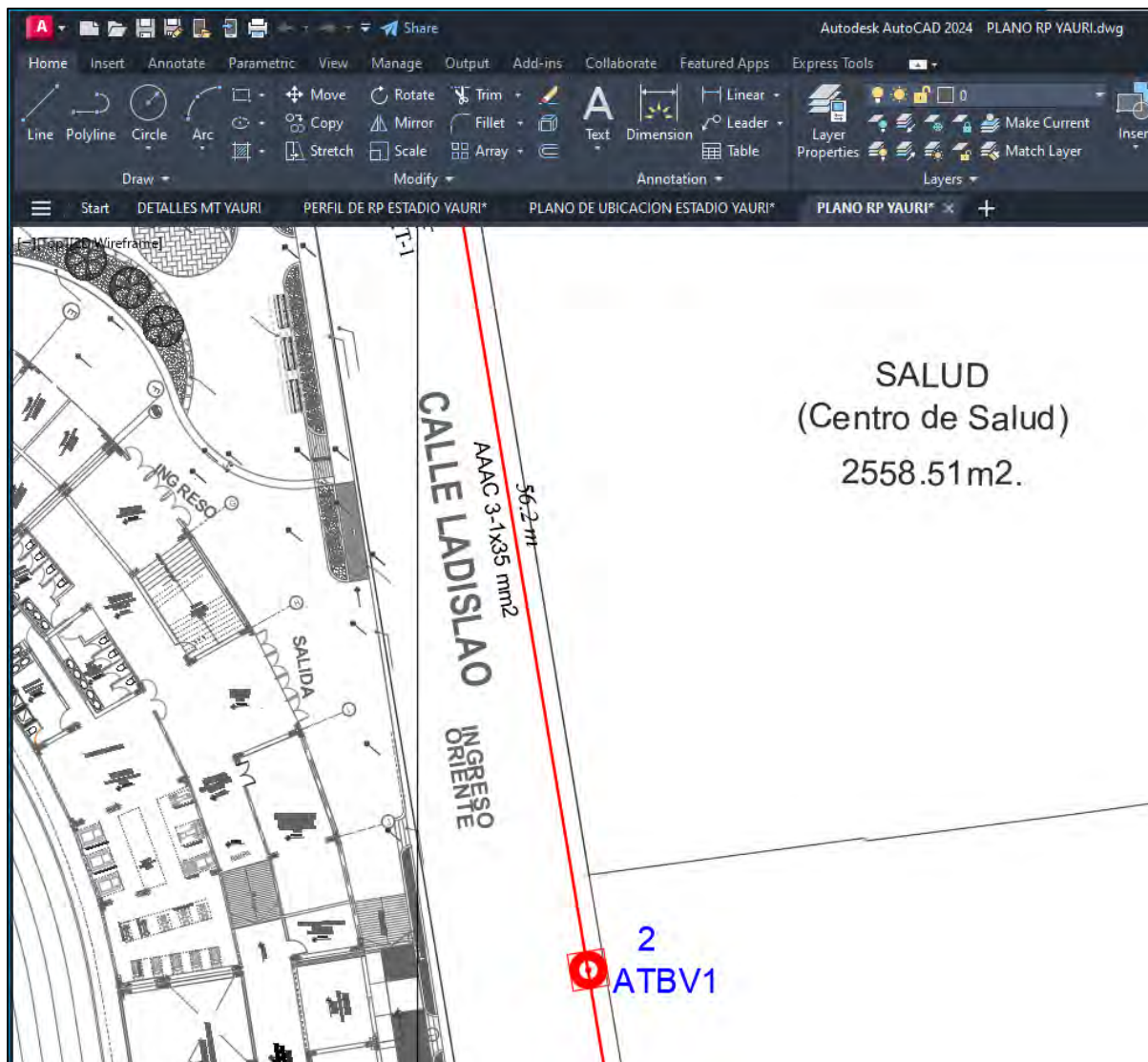


Esta falta de precisión implicaba que, durante la ejecución, el personal de construcción podría encontrarse con que el Punto de Derivación no era viable físicamente, obligando a rediseñar el trazado del alimentador o a reforzar o reemplazar el poste existente, con los consiguientes sobre costos y retrasos en el cronograma.

El diseño en 2D no permite visualizar la relación espacial real entre el alimentador proyectado y las edificaciones existentes en el entorno. Esta limitación impide identificar conflictos de distancia de seguridad que solo son evidentes al analizar el proyecto en tres dimensiones.

Figura 23

Plano 2D del trazado del alimentador, donde no es posible verificar las distancias de seguridad con el Centro de Salud y viviendas aledañas



Fuente: Elaboración propia basada en el Plano del Complejo Deportivo.

Como se aprecia en la Figura 23, el diseño 2D del alimentador presenta deficiencias para verificar el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad con las viviendas existentes.

El Centro de Salud se representa un área (2558.51 m²), sin altura ni volumetría, mientras que el trazado del alimentador se muestra mediante una línea que cruza la Calle Ladislao, indicando, pero sin cotas de distancias a las edificaciones ni referencias de alturas. No es posible determinar a qué distancia pasa el alimentador del Centro de Salud ni si respeta los lineamientos normativos establecidos en el Código Nacional de Electricidad.

En la verificación posterior durante el replanteo en campo, se identificó que el trazado proyectado originalmente se aproximaba peligrosamente al perímetro del Centro de Salud, sin cumplir con las distancias de seguridad reglamentarias.

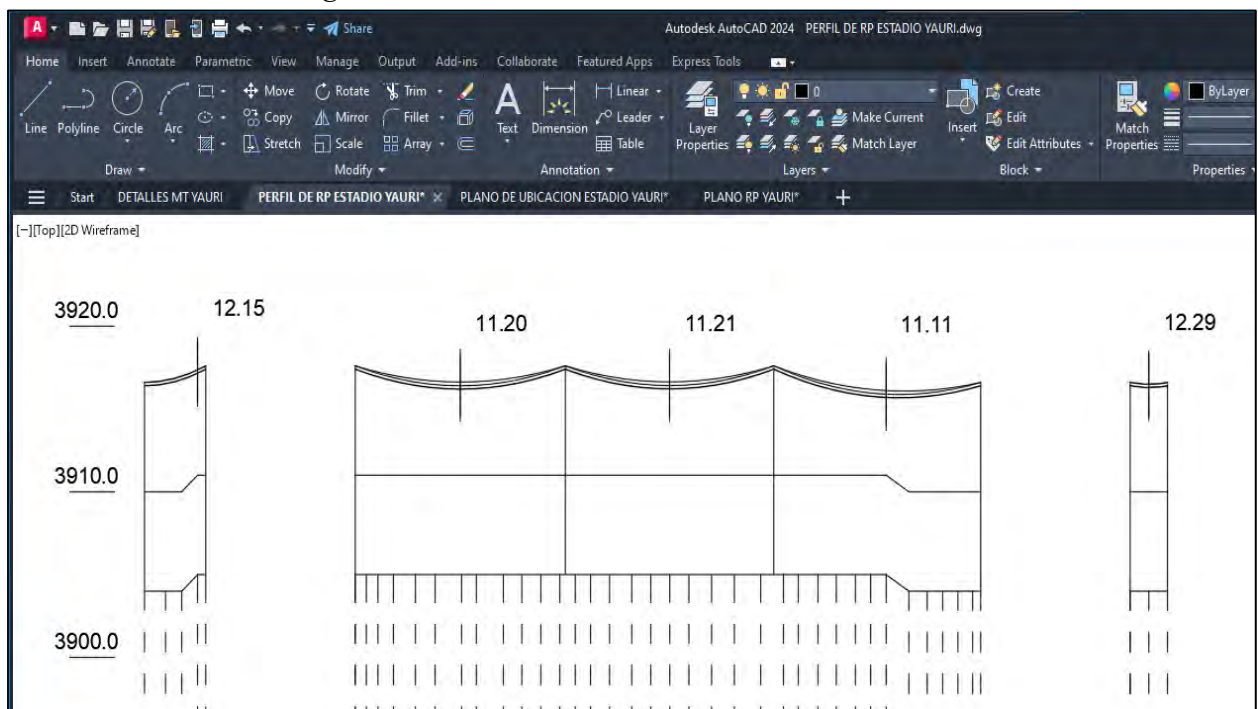
Esta situación obligó a modificar la ruta del alimentador, ubicándolo al otro lado de la Calle Ladislao, para garantizar que no exista un acercamiento excesivo a los predios y se cumplan las distancias mínimas de seguridad. Este caso evidencia que el diseño en 2D, al no integrar el contexto tridimensional de las edificaciones, traslada la detección de conflictos espaciales a la etapa de replanteo en campo.

3.3.3. Limitaciones en redes aéreas (distancias de seguridad)

El diseño en 2D de la red aérea utilizando conductor AAAC de 35 mm² presentó deficiencias significativas en la representación de las distancias de seguridad vertical, aspecto crítico para garantizar la protección de personas y vehículos que transitan bajo la línea eléctrica.

Figura 24

Perfil longitudinal de la red primaria en 2D, donde no es posible verificar claramente las distancias mínimas de seguridad vertical al suelo



Fuente: Elaboración propia basada en el Plano del Complejo Deportivo, AutoCAD.

Como se aprecia en la Figura 24, el perfil longitudinal de la red primaria en 2D muestra las cotas de terreno y los postes, pero no permite verificar de manera clara y directa el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad vertical establecidas en el Código Nacional de Electricidad.

Si bien se indican valores como "Mínimo 3920.0" y "Máximo 3920.0", estas referencias no son suficientes para garantizar que en todo el tramo del conductor se respete la altura reglamentaria sobre el suelo, especialmente en zonas con desniveles o pendientes pronunciadas.

El Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011) establece distancias mínimas de seguridad vertical que deben cumplir los conductores de media tensión según el tipo de vía o terreno sobre el que se tienden.

En zonas urbanas, sobre vías públicas, la altura mínima es de 6.0 metros; sobre veredas o áreas peatonales, de 5.5 metros. En el perfil 2D presentado, no es posible verificar si estas alturas se cumplen a lo largo de toda la longitud del alimentador, ya que solo se muestran cotas puntuales en los postes, pero no la flecha del conductor en el centro del vano, que es donde la distancia al suelo es menor.

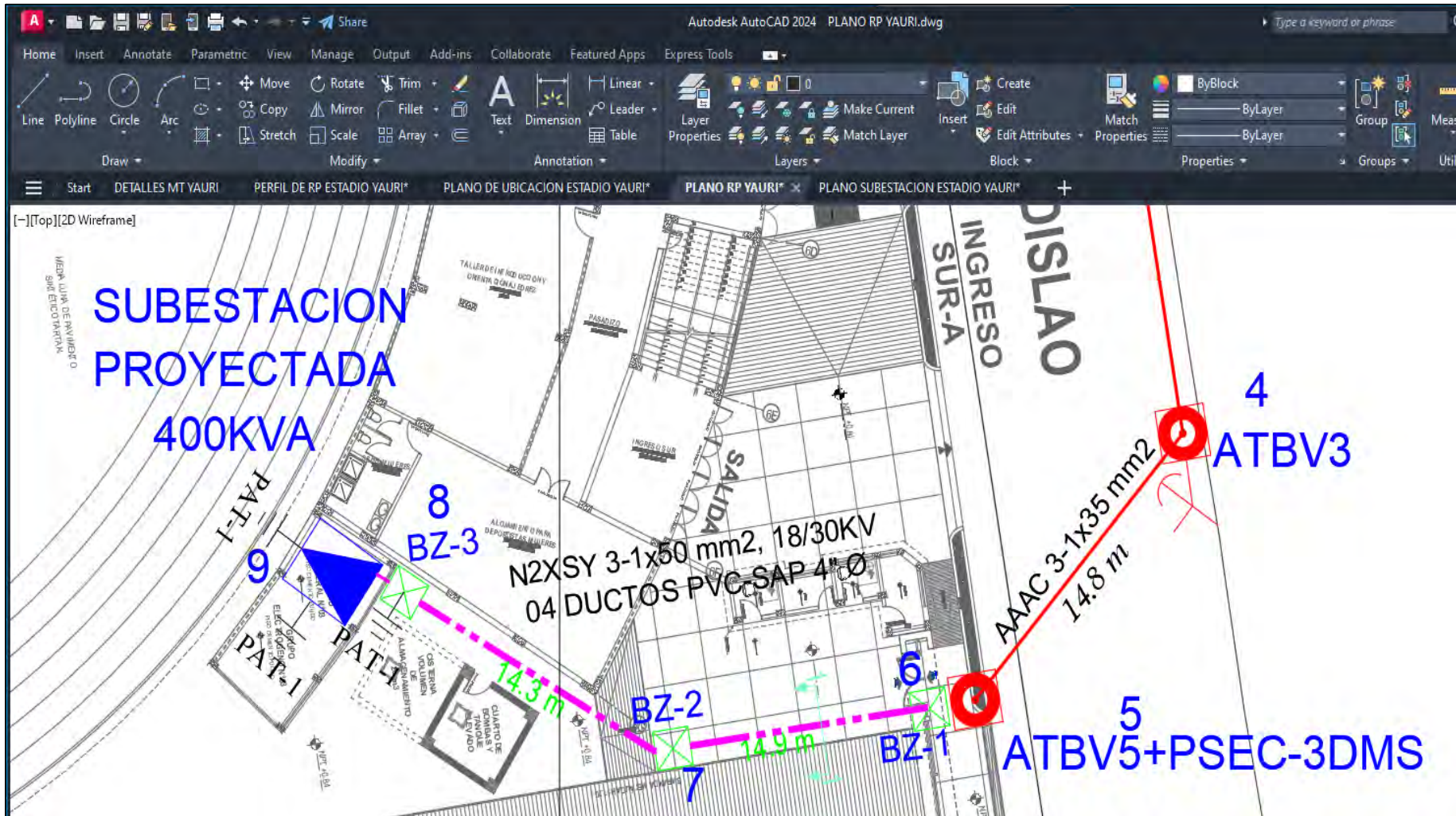
Además, la especificación de los conductores se basó en tablas estándar sin considerar las condiciones específicas de cada vano, como la topografía irregular del terreno o la presencia de obstáculos. Esta falta de verificación precisa implica que, durante la construcción, podrían detectarse tramos donde la altura del conductor sea insuficiente, obligando a modificar la altura de los postes, a reemplazar los conductores o a reconfigurar el trazado, generando sobrecostos y retrasos no previstos.

3.3.4. Interferencias en redes subterráneas

El diseño de la red subterránea, que utiliza cables N2XSJ de 50 mm² (18/30 kV) instalados en ductos de PVC SAP de 4"Ø, presentó limitaciones significativas en la representación 2D, especialmente en lo referente a la disposición de los ductos y su relación con la subestación proyectada.

Figura 25

Plano 2D de la red subterránea y subestación, donde no es posible verificar la disposición de los ductos ni la accesibilidad a la subestación



Fuente: Elaboración propia basada en el Plano del Complejo Deportivo, AutoCAD.

Como se aprecia en la Figura 25, el diseño 2D muestra la transición desde el armado ATBV5 (fin de línea con seccionamiento) hacia la red subterránea, indicando "04 DUCTOS PVC SAP 4"Ø" y el cable "N2XSY 3-1x50 mm², 18/30KV" que alimenta la subestación proyectada de 400 kVA.

Sin embargo, esta representación presenta las siguientes deficiencias:

1. Limitaciones en la representación de ductos:

Los cuatro ductos de PVC se representan únicamente como una línea única en planta, sin indicar su disposición real en la zanja.

No es posible determinar si los ductos van en bancada simple, doble o en formación, ni cuál es la separación entre ellos.

Tampoco se indica la profundidad de instalación ni la capa de protección (arena, ladrillo, cinta señalizadora).

Esta falta de detalle impide verificar si la separación entre ductos es la adecuada para evitar el recalentamiento entre circuitos o si la profundidad cumple con la normativa para redes subterráneas de media tensión.

2. Limitaciones en la transición aéreo-subterránea:

El punto de transición en el armado ATBV5 se representa con simbología convencional, sin mostrar cómo se realiza el paso del conductor aéreo al cable subterráneo, ni las dimensiones de la caja de transición o el pozo de registro.

No se especifica el radio de curvatura del cable al ingresar al ducto, aspecto crítico para evitar daños en el aislamiento del cable N2XSY.

3. Limitaciones en la conexión a la subestación:

Los ductos llegan a la subestación proyectada de 400 kVA, representada como un rectángulo (1-1VH) sin indicar el punto exacto de ingreso, si el ingreso es subterráneo o aéreo, ni las dimensiones de la losa o cimentación.

No se puede verificar si el espacio entre la subestación y los buzones (BZ-1, BZ-2, BZ-3) es suficiente para las curvas de los ductos ni si la disposición permite el tendido adecuado de los cables.

4. Interferencias no detectables en 2D:

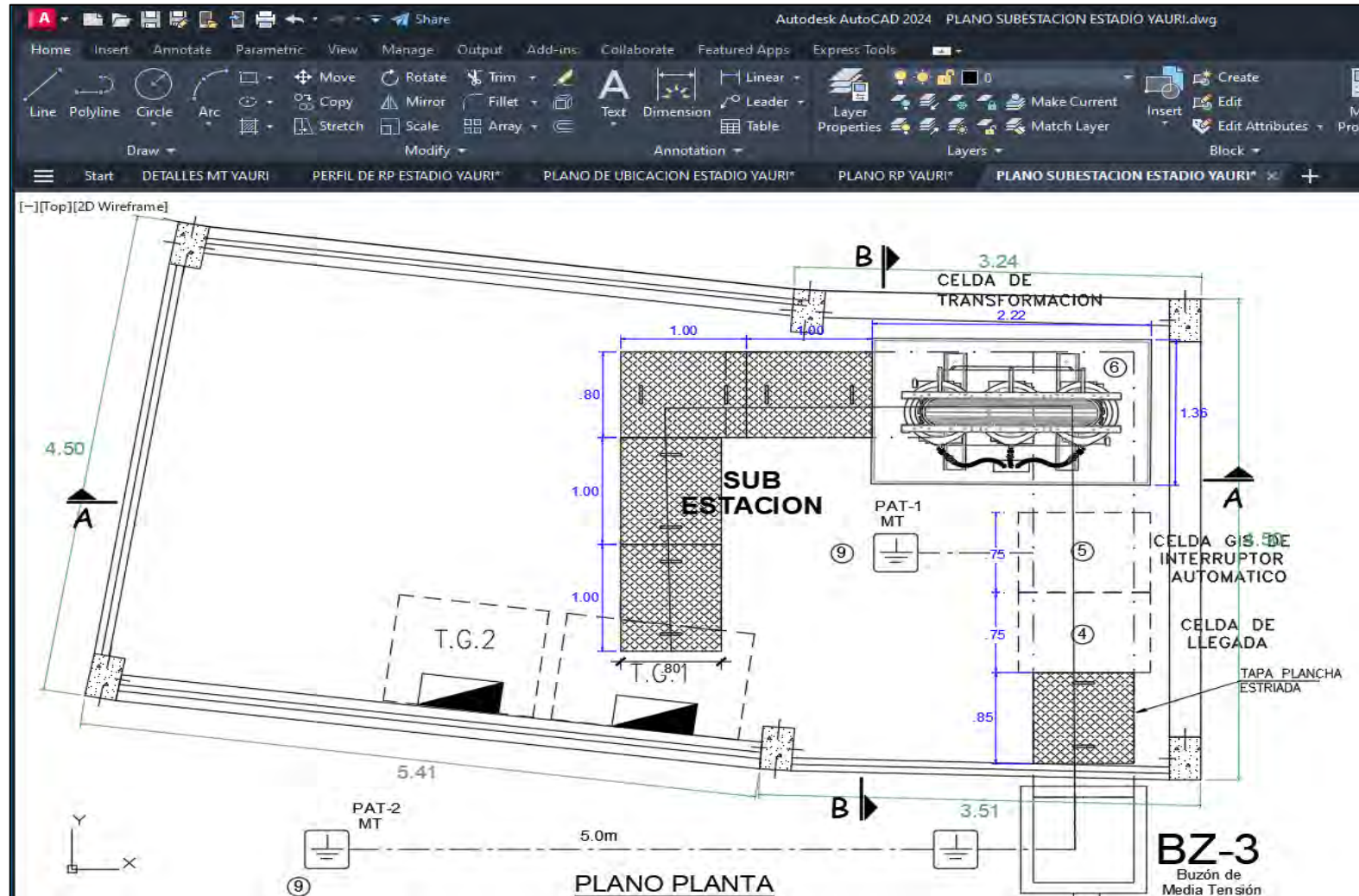
- a) La ubicación de los buzones BZ-1, BZ-2 y BZ-3 en relación con la subestación podría no ser la óptima, generando cruces de ductos o longitudes excesivas de cable que van a los buzones.
- b) El radio de curvatura de los ductos al ingresar a la subestación podría ser insuficiente, dañando el cable durante el tendido.
- c) La disposición de los cuatro ductos podría interferir con la cimentación de la subestación o con los pozos de puesta a tierra.
- d) No se puede verificar si existe espacio suficiente para la apertura de puertas de la subestación ni para el acceso de personal de mantenimiento.

3.3.5. Interferencias en la disposición interna de la subestación

El diseño en 2D de la subestación tipo caseta presentó limitaciones para verificar la correcta disposición de los equipos en su interior, así como posibles interferencias entre ellos.

Figura 26

Plano 2D en planta de la subestación, donde no es posible verificar interferencias en la disposición interna de los equipos



Fuente: Elaboración propia basada en el Plano del Complejo Deportivo, AutoCAD.

Como se aprecia en la Figura 26, el diseño 2D en planta muestra la ubicación de la celda de llegada, la celda GIS de interruptor automático, la celda de transformación y el transformador de 400 kVA, junto con las cotas de 1.00 m, 0.80 m y 1.35 m entre equipos. Sin embargo, esta representación bidimensional no permite identificar las siguientes interferencias potenciales:

La separación de 1.00 m entre la celda GIS y la celda de transformación podría ser insuficiente si las puertas de los equipos se abren hacia el pasadizo, o si existen salientes como cableados o canalizaciones que reduzcan el espacio libre.

El pasadizo de 0.80 m podría no cumplir con el ancho mínimo normativo para la circulación del personal de mantenimiento, especialmente si se requiere transportar herramientas o equipos de prueba.

No es posible verificar si la puerta de acceso a la subestación tiene las dimensiones adecuadas para el ingreso del transformador o si su ubicación permite una evacuación segura en caso de emergencia.

Adicionalmente, los pozos de puesta a tierra PAT-1 MT y PAT-2 MT se muestran en planta, pero no se puede determinar si interfieren con las cimentaciones de los equipos o con los ductos de ingreso. El buzón BZ-3 se representa solo como un rectángulo, sin especificar la disposición de los ductos de entrada y salida, lo que podría generar interferencias con los cables al momento del tendido.

Como consecuencia de estas limitaciones, durante el montaje de la subestación se podrían detectar interferencias entre equipos, falta de espacio para mantenimiento, o incumplimiento de distancias de seguridad, obligando a reubicar equipos o redimensionar la caseta, con los consiguientes sobrecostos y retrasos.

3.4. Limitaciones del diseño 2D en la precisión de metrados y presupuesto

Las deficiencias del diseño en 2D identificadas en las secciones anteriores (imprecisiones dimensionales, omisión de componentes, especificaciones genéricas) tienen un impacto directo y cuantificable en la precisión de los metrados y la estimación presupuestal del proyecto. Al no

contar con un modelo tridimensional paramétrico, los metrados se calculan manualmente a partir de planos independientes, lo que genera omisiones, duplicidades y errores de cuantificación.

A continuación, se presenta la lista de materiales del presupuesto original del proyecto, elaborado a partir del diseño en 2D, identificando las omisiones y subestimaciones detectadas.

Tabla 4

Presupuesto 2D con identificación de omisiones y subestimaciones

Descripción	Unidad	Cantidad 2D	Precio Unit. (S/)	Parcial (S/)	Observación
POSTE DE CAC 15/400/180/405	und	5	2,145.00	10,725.00	Correcto
CONDUCTOR AAAC 35mm ²	m	850	4.64	3,795.00	(requiere 720 m)
CONDUCTOR N2XSJ 1x50 mm ²	m	213.1	106.5	22,695.15	Subestimado (requiere 242 m)
CRUCETA 75x75x2500 mm (3 dados)	und	2	250	500	Correcto
RIOSTRA 75x75x2040 mm	und	2	250	500	Correcto
ABRAZADERA PARTIDO D=205 mm	und	4	60	240	Especificación genérica
ABRAZADERA PARTIDO D=220 mm	und	4	60	240	Especificación genérica
PERNO MAQUINADO L=50 mm	und	4	5	20	OMITIDO PARCIAL (faltan 107 und)
TUERCA OJO D=16 mm	und	23	8	184	OMITIDO PARCIAL (faltan 289 und)
AISLADOR PORCELANA PIN ANSI 56-4	und	12	120	1,440.00	Subestimado (requiere 27 und)
ESPIGA PARA CRUCETA	und	12	45	540	Correcto
VARILLA DE ARMAR PREFORMADA	und	15	15	225	Correcto
GRAPA PARALELA DE TRES PERNOS	pza	12	15	180	Correcto
CABLE DE ACERO D=10 mm	m	40	4.75	190	Correcto
VARILLA DE ANCLAJE 19x2400 mm	pza	2	65	130	Correcto

Descripción	Unidad	Cantidad 2D	Precio Unit. (S/)	Parcial (S/)	Observación
ARANDELA CUADRADA PLANA	und	2	8	16	OMITIDO PARCIAL
GUARDACABO D=10 mm	pza	8	2	16	Correcto
PLANCHA FoGo 400x400 mm	pza	2	50	100	Correcto
ABRAZADERA SOPORTE RETENIDA	und	2	45	90	Correcto
AISLADOR POLIMERICO CLEVIS-OJO	und	4	141	564	Subestimado (requiere 6 und)
CANAleta GUARDACABLE	und	2	45	90	Correcto
TEMPLADOR PARA RETENIDA	und	4	45	180	Correcto
ALAMBRE GALVANIZADO #14	kg	0.8	10	8	Correcto
GRILLETE DE ANCLAJE RECTO	und	19	15	285	Correcto
PIEDRA SURTIDA	m³	2.75	120	330	Correcto
APOYO ABRAZADERA CONTRAPUNTA	und	2	110	220	Error dimensional (1.20 m vs 1.54 m)
VARILLA DISPERSION COBRE D=19 mm	und	6	350	2,100.00	Correcto
CONDUCTOR COBRE THW 25 mm²	m	84	25	2,100.00	Correcto
PLANCHA ANTIRROBO BRONCE	und	6	60	360	Correcto
CONECTOR ANDERSON	und	6	10	60	Correcto
CAJA REGISTRO CONCRETO 40x40x30	und	6	50	300	Correcto
BENTONITA SODICA	bol	12	40	480	Correcto
CEMENTO CONDUCTIVO	bol	12	80	960	Correcto
TIERRA NEGRA O ARCILLA	m³	18	90	1,620.00	Correcto
CONECTOR PERNO PARTIDO	und	6	8.5	51	Correcto
PARARRAYOS 21kV, 10KA	und	6	475	2,850.00	OMITIDO (requiere 8 und en total)

Descripción	Unidad	Cantidad 2D	Precio Unit. (S/)	Parcial (S/)	Observación
TRANSFORMADOR SECO 400 kVA	eq	1	95,650.00	95,650.00	Correcto
GABINETE MEDICION 40x25x20	und	1	150	150	Correcto
TERMINALES CONEXION ALUMINIO	und	12	5	60	Correcto
YESO (20 kg)	bol	0.27	6	1.62	Correcto
ESTACAS MADERA 2"x2"x0.5 m	und	2.16	1.5	3.24	Correcto
GASOHOL 90 PLUS	gln	0.54	25	13.5	Correcto
CINTA SEÑALIZACION PELIGRO	rll	1.95	50	97.5	Correcto
CELDA DE REMONTE 24 kV	und	1	15,500.00	15,500.00	Correcto
ALAMBRE NEGRO N°8	kg	18.06	4.5	81.27	Correcto
FIERRO CORRUGADO Fy 4200	kg	108.3	32	3,465.60	Correcto
PIEDRA CHANCADA 3/4"	m³	5.532	90	497.88	Correcto
ARENA FINA	m³	7.7596	120	931.15	Correcto
ARENA GRUESA	m³	8.19	100	819	Correcto
AGUA TRANSPORTADA	m³	17.7916	5	88.96	Correcto
CEMENTO PORTLAND TIPO I	bls	45.16	25	1,129.00	Correcto
MADERA PARA ENCOFRADO	p²	173.64	6.5	1,128.66	Correcto
TUBO FIERRO GALVANIZADO 4"	und	2	450	900	Correcto
CRUCETA 75x75x2500 mm (1 dado)	und	6	300	1,800.00	Correcto
RIOSTRA 75x75x1610 mm	und	8	250	2,000.00	Correcto
RIOSTRA 75x75x2245 mm	und	8	250	2,000.00	Correcto
PERFIL ANGULAR 75x75x2075 mm	und	8	220	1,760.00	Correcto
ABRAZADERA CAS SIMPLE D=240 mm	und	2	50	100	Correcto
ABRAZADERA PARTIDO D=180 mm	und	2	60	120	Correcto

Descripción	Unidad	Cantidad 2D	Precio Unit. (S/)	Parcial (S/)	Observación
ABRAZADERA PARTIDO D=200 mm	und	2	60	120	Correcto
ABRAZADERA PARTIDO D=210 mm	und	2	60	120	Correcto
PERNO MAQUINADO L=75 mm	und	6	7.5	45	OMITIDO PARCIAL
AISLADOR POLIMERICO SUSPENSION	und	15	150	2,250.00	Subestimado (requiere 18 und)
GRAPA ANCLAJE PISTOLA SECCIONADOR UNIPOLAR	und	15	45	675	Correcto
27 kV	und	6	525	3,150.00	Subestimado (requiere 9 und)
TRANSFORMADOR MEDIDA Y CORRIENTE	und	1	13,500.00	13,500.00	Correcto
TERMINACION TERMOCONTRACTIL	und	7	2,400.00	16,800.00	Correcto
HORMIGON	m³	1.75	180	315	Correcto
CELDA PROTECCION Y SECCIONAMIENTO	eq	1	29,750.00	29,750.00	Correcto
TUBERIA PVC SAP 4"	pza	59	90	5,310.00	Correcto
LADRILLO PROTECCION	und	206	1.5	309	Correcto
TAPA METALICA ESTRIADA	m	6	112	672	Correcto
CRUCETA 75x75x2500 mm (2 dados)	und	18	250	4,500.00	Correcto
ABRAZADERA CAS DOBLE D=240 mm	und	3	50	150	Correcto
PERNO DOBLE ARMADO D=16 mm	und	36	20	720	Correcto
CINTA PLANA ARMAR ALUMINIO	und	15	2.5	37.5	Correcto
FUSIBLE EXPULSION 15A TIPO K	und	3	10	30	Correcto
CONECTOR PARTIDO 25- 50mm²	und	12	7.5	90	Correcto
IMPLEMENTOS PROTECCION PERSONAL	gbl	1	5,000.00	5,000.00	Correcto
PINTURA AEROSOL AMARILLO	und	8.5	10	85	Correcto

Descripción	Unidad	Cantidad 2D	Precio Unit. (S/)	Parcial (S/)	Observación
PINTURA AEROSOL NEGRO	und	8.5	10	85	Correcto
THINER ACRILICO	gln	1.7	20	34	Correcto
CINTA SEÑALIZADORA CELESTE	m	206	0.85	175.1	Correcto
HEBILLA CINTA BAND IT	m	40	5.5	220	Correcto
CONECTOR UN PERNO AL-AL	und	9	7	63	Correcto
FUSIBLE EXPULSION 20A TIPO K	und	3	10	30	Correcto
CONECTOR TERMINAL PVC 4"	und	16	20.5	328	Correcto
TAPAS LATERALES SUBESTACION	gbl	1	2,690.00	2,690.00	Correcto
ALAMBRE AMARRE ALUMINIO 10 mm ²	m	40	1.5	60	Correcto
SEÑALIZACIONES SEGURIDAD	gbl	1	150	150	Correcto
PALOMILLA PROTECCION	und	2	650	1,300.00	Correcto
ABRAZADERA PARTIDO D=240 mm	und	2	60	120	Correcto
ABRAZADERA PARTIDO D=250 mm	und	2	60	120	Correcto
BALON GAS 10 KG	und	5	120	600	Correcto
BASE SOPORTE TRANSFORMADOR	und	1	750	750	Correcto
ABRAZADERA PARTIDO D=275 mm	und	1	60	60	Correcto
ABRAZADERA PARTIDO D=285 mm	und	1	60	60	Correcto
PORTA ESCALERA	pza	1	50	50	Correcto
PLATINA SOPORTE PARARRAYOS	und	3	26	78	Correcto
TOTAL MATERIALES				273,283.13	

Fuente: Presupuesto del proyecto del alimentador de media tensión para el complejo deportivo.

El detalle de los materiales asciende a S/ 273,283.13.

Adicionalmente, el presupuesto contempla mano de obra por S/ 132,041.19 y transporte por S/ 33,010.30, lo que da un costo directo total de S/ 438,334.62.

Aplicando los gastos generales (18.15%), utilidad (5.00%) e IGV (18.00%), se obtiene el presupuesto total del proyecto, tal como se resume en la Tabla siguiente.

Tabla 5

Presupuesto total del complejo deportivo Espinar

Concepto	Método 2D Tradicional (S/)
Materiales	273,283.13
Mano de Obra	132,041.19
Transporte	33,010.30
Costo Directo	438,334.62
Gastos Generales (18.15%)	79,557.73
Utilidad (5.00%)	21,916.73
Subtotal	539,809.08
I.G.V. (18.00%)	97,165.63
TOTAL, PROYECTO	636,974.71

Fuente: Presupuesto del proyecto del alimentador de media tensión para el complejo deportivo.

Como se observa en la Tabla 6, el diseño en 2D se omitió por completo la cuantificación de elementos menores pero esenciales para el montaje, como pernos, tuercas y arandelas.

Estas omisiones significan que, en el método tradicional, estos componentes no estaban considerados en el presupuesto inicial, generando la necesidad de adquisiciones de emergencia durante la construcción con los consecuentes sobre costos y retrasos.

Tabla 6*Componentes no contemplados en el diseño 2D*

Componente omitido	Cantidad no especificada (und)
Pernos maquinados (varios tipos)	111
Tuercas y arandelas	312
Aisladores de porcelana PIN ANSI 56-4	3
Aisladores poliméricos de suspensión	1
Seccionadores trifásicos	1
Pararrayos de 21 kV	1

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del replanteo en campo y la verificación dimensional del proyecto.

La Tabla 7 muestra las discrepancias dimensionales más críticas detectadas. El caso del apoyo para contrapunta es particularmente grave, ya que la diferencia de 0.34 metros entre lo especificado en el plano (1.20 m) y la longitud real requerida (1.54 m) habría implicado la fabricación incorrecta de la pieza, con el consiguiente sobre costo por adquisición. La discrepancia en la altura de los postes entre diferentes planos del mismo proyecto (13 metros en unos, 15 metros en otros) evidencia la falta de coordinación propia del método 2D.

Tabla 7*Discrepancias dimensionales identificadas*

Componente	Dato en plano 2D	Dato real requerido	Diferencia
Apoyo para contrapunta (armado ATBV3)	1.20 m	1.54 m	+0.34 m
Altura de poste (discrepancia entre planos)	13 m (detalle) vs 15 m (red principal)	15 m	-2 m
Espacio requerido para retenida	No especificado	1.70 m	Omisión total

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del replanteo y verificación en campo.

El diseño 2D del detalle de instalación de cables subterráneos bajo ingresos vehiculares (Tabla 8) adolece de imprecisiones generalizadas que afectan directamente la estimación de metrados. Sin la profundidad de instalación especificada desde el nivel de pista terminado, no es posible calcular con precisión el volumen de excavación ni la cantidad de material requerido. La falta

de especificación del tipo de arena, la resistencia del ladrillo y las características de la cinta señalizadora genera incertidumbre en la selección de materiales.

Tabla 8

Imprecisiones en el detalle de instalación de cables subterráneos

Elemento del detalle	Imprecisión en diseño 2D
Ducto de concreto	No especifica si las medidas son internas o externas
Profundidad de instalación	No indicada desde el nivel de pista terminado
Arena fina	No especifica granulometría ni espesor de capa
Ladrillo mecanizado	No especifica resistencia mecánica ni traslape
Cinta señalizadora	No especifica color, ancho ni profundidad de instalación
Relleno	No especifica tipo de material ni compactación

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del replanteo y verificación en campo.

Como se resume en la Tabla 9, las limitaciones del diseño en 2D se traducen en sobrecostos estimados en S/ 60,025.55. Los componentes no contemplados representan el mayor impacto económico, seguidos de las horas hombre adicionales requeridas para resolver incompatibilidades espaciales y la modificación de piezas fabricadas incorrectamente.

Tabla 9

Impacto económico

Concepto	Monto (S/)
Componentes no contemplados	28,450.00
Modificación de piezas fabricadas	12,800.00
Horas hombre adicionales	15,200.00
Retrabajos por interferencias	3,575.55
Corrección de armados incompatibles	-
Reconfiguración de trazado	-
TOTALES	60,025.55

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del replanteo y verificación en campo.

Los valores presentados en las tablas anteriores demuestran que el método tradicional en 2D presenta serias deficiencias en la cuantificación de materiales y componentes, lo que se traduce

en sobrecostos estimados en S/ 60,025.55 y un retraso de 15 días en el cronograma de ejecución.

Las discrepancias dimensionales identificadas, como el caso del apoyo para contrapunta (1.20 m especificado vs 1.54 m real requerido), evidencian que el diseño 2D no permite validar la compatibilidad dimensional entre componentes antes de su fabricación. Esta limitación traslada la detección de errores a la etapa de construcción, donde las correcciones son significativamente más costosas y afectan directamente el cronograma de obra. Asimismo, las omisiones en los metrados generan adquisiciones de emergencia, compras con sobreprecio y paralizaciones parciales de obra, impactando negativamente en la rentabilidad del proyecto.

En este contexto, la metodología BIM se presenta como una alternativa viable y necesaria. Al permitir el modelado tridimensional paramétrico de todos los componentes del sistema eléctrico, BIM posibilita la detección temprana de interferencias, la extracción automatizada de metrados precisos, la verificación del cumplimiento normativo y la centralización de la información del proyecto en un entorno común de datos. Estos beneficios, que se desarrollarán en detalle en los capítulos siguientes, permiten superar las limitaciones identificadas en el diseño 2D y garantizar una ejecución más eficiente, segura y ajustada a los costos y plazos previstos.

3.5. Conclusión Del Capítulo

El diseño en 2D presenta tres limitaciones fundamentales. En la precisión del diseño, se evidenció la omisión de insumos menores (111 pernos y 312 tuercas) y discrepancias críticas como el apoyo para contrapunta (1.20 m vs 1.54 m). En la detección de interferencias, no permitió identificar conflictos como la invasión del perímetro del Centro de Salud por el armado ATBV4. En los metrados y presupuesto, generó sobrecostos estimados de S/ 60,025.55 y un retraso de 15 días. Por ello, se concluye que el método 2D es insuficiente para proyectos de media tensión, justificando la implementación de BIM.

CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGÍA BIM PARA EL DISEÑO DEL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN DEL COMPLEJO DEPORTIVO DE ESPINAR

4.1. Introducción

En este capítulo se describe cómo se llevó a cabo la implementación de la metodología BIM en el proyecto. Primero se explica la estrategia que se siguió, luego se muestra el modelado tridimensional de cada uno de los componentes del sistema eléctrico, después se detalla cómo se integraron las distintas especialidades y cómo se detectaron los conflictos, y por último se presentan los resultados obtenidos en términos técnicos, económicos y de tiempo, que confirman que se cumplió con el objetivo planteado.

La idea central del capítulo es mostrar la aplicación de BIM como una solución completa. Se busca detallar el proceso de construcción de un modelo digital que no solo copia la realidad de la infraestructura eléctrica, sino que también permite mejorarla y revisarla antes de llevarla a obra. Para eso, se explica cómo se planificó todo, qué programas se eligieron (como Revit y Navisworks) y qué reglas de trabajo se definieron para que todos trabajaran de manera ordenada. También se entra en detalle sobre el modelado de cada elemento, desde los postes y las bases hasta los armados más complejos.

Al final, el capítulo muestra cómo el trabajo conjunto en un entorno BIM permite encontrar automáticamente los conflictos entre elementos y revisar si se están cumpliendo las distancias de seguridad. Queda claro que la precisión con que se definen las piezas y la posibilidad de que los cambios se ajusten solos superan los problemas típicos del método en 2D. Todo lo que se presenta aquí sirve de base para el análisis comparativo que se hará en el Capítulo V, y

demuestra que usar esta forma de trabajar mejora notablemente la calidad, la eficiencia y la seguridad de los proyectos eléctricos.

4.2. Estrategia De Implementación BIM Para Proyectos De Media Tensión

La implementación de la metodología BIM en el proyecto del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo de Espinar requiere un enfoque estructurado que garantice la efectividad del modelo digital más allá de una representación tridimensional. Para ello, es fundamental definir una estrategia integral desde las fases iniciales, de manera que el modelo BIM constituya una herramienta de gestión técnica y administrativa del proyecto, superando las limitaciones propias del diseño convencional en 2D.

Dicha estrategia se organizó en tres componentes principales: la planificación del proceso BIM, la selección de las plataformas tecnológicas y la definición de los protocolos y estándares de trabajo colaborativo.

4.2.1. Planificación de la implementación

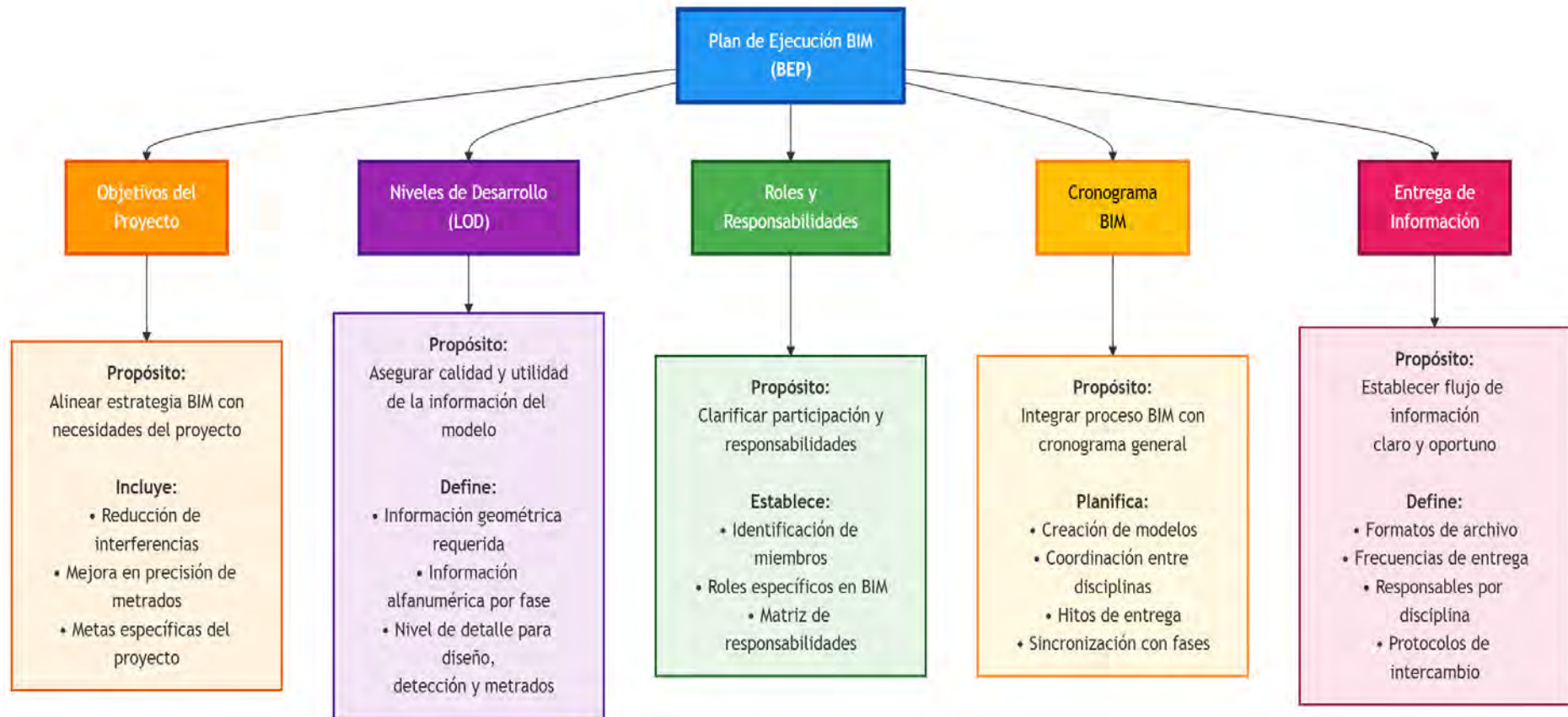
Al empezar, lo primero fue definir un esquema de trabajo que juntara lo que se quería lograr con el proyecto y lo que permite hacer BIM. Se fijó el nivel de detalle que iba a tener cada pieza, pensando en que el modelo fuera lo bastante preciso como para encontrar interferencias, calcular bien los materiales y simular cómo se iba a construir.

Por ejemplo, los postes y los armados más importantes (como los DT-3, ATBV1, ATBV3 y otros) se modelaron con mucho detalle, incluyendo todos sus herrajes y anclajes. En cambio, piezas más chicas como pernos y tuercas podían tener menos detalle gráfico, pero igual se les puso la información necesaria para que funcionaran bien en el modelo.

También se hizo un plan de ejecución BIM donde se anotó qué iba a hacer cada persona, en qué tiempos se iba a trabajar y cómo se iban a coordinar las distintas especialidades. Ese plan fue clave para evitar los problemas de comunicación que tanto afectan al método 2D, porque puso orden y dejó todo más claro desde el inicio.

Figura 27

Esquema conceptual de los cinco componentes del Plan de Ejecución BIM (BEP): objetivos, LOD, roles, cronograma y entrega de información



Fuente: Esquema conceptual elaborado en mermaid.live.

Tabla 10
Componentes Clave del Plan de Ejecución BIM

Componente del BEP	Descripción	Objetivo Principal
Objetivos del Proyecto	Metas específicas que se buscan alcanzar con la implementación de BIM (ej. reducción de interferencias, mejora en la precisión de metrados).	Alinear la estrategia BIM con las necesidades del proyecto.
Niveles de Desarrollo (LOD)	Definición del nivel de información geométrica y alfanumérica requerido para cada fase y componente del proyecto.	Asegurar la calidad y utilidad de la información del modelo para cada propósito (diseño, detección, metrados).
Roles y Responsabilidades	Identificación de los miembros del equipo y sus roles específicos en el proceso BIM.	Clarificar la participación y las responsabilidades de cada involucrado.
Cronograma BIM	Planificación de las actividades relacionadas con la creación, coordinación y entrega del modelo BIM.	Integrar el proceso BIM con el cronograma general del proyecto.
Entrega de Información	Definición de los formatos, frecuencias y responsables de la entrega de modelos e información.	Establecer un flujo de información claro y oportuno entre los miembros del equipo.

Fuente: Elaboración propia.

Según (McGraw , 2024), la correcta implementación de los componentes del Plan de Ejecución BIM genera beneficios tangibles y cuantificables, ya que cada componente optimiza los procesos y mejora los resultados del proyecto.

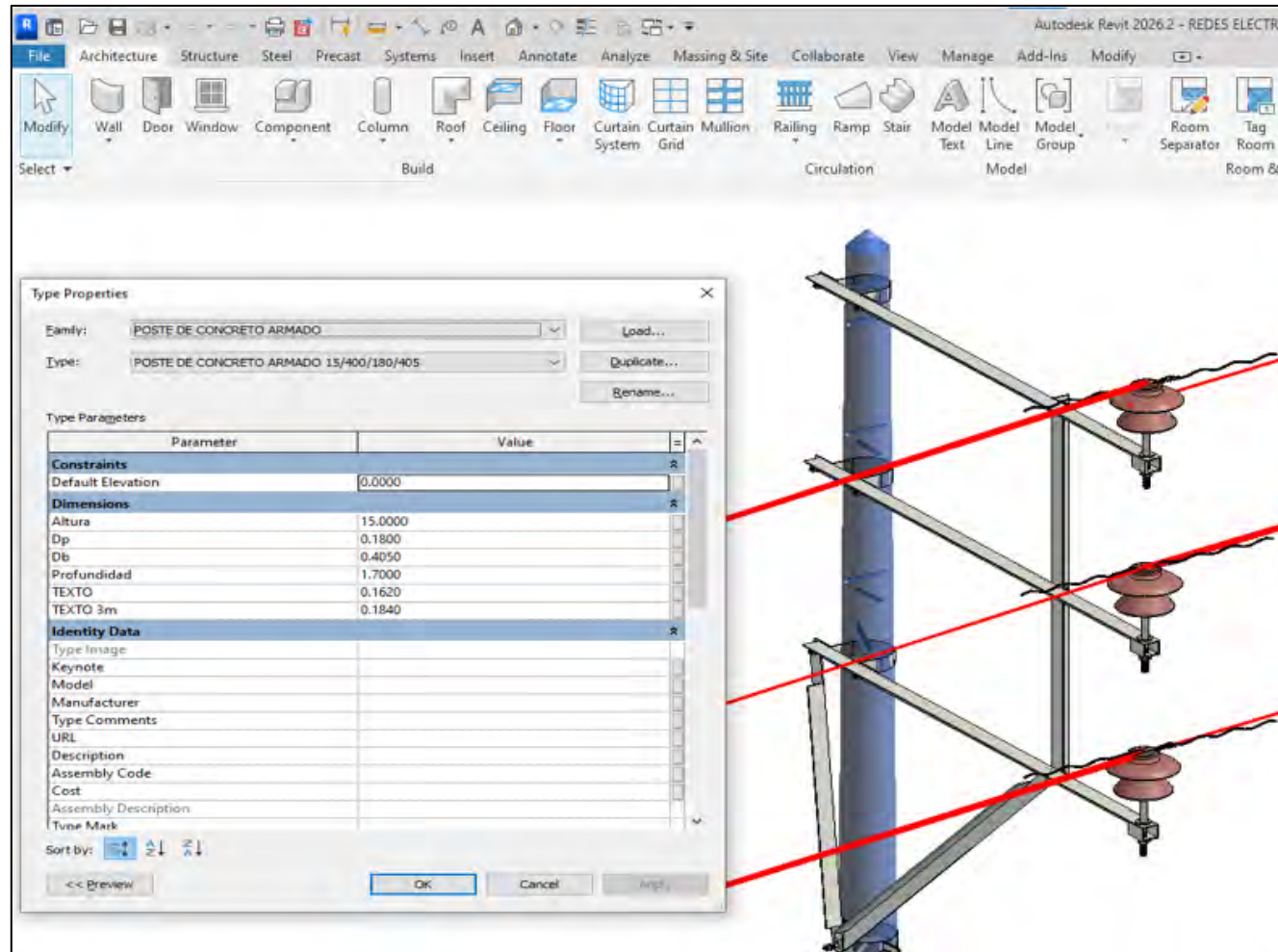
4.2.2. Selección de herramientas y software BIM

La elección del software es esencial para el éxito de la implementación. Para el proyecto del alimentador de media tensión, se seleccionó una suite de herramientas que cubren todas las fases del ciclo de vida del proyecto.

- A. **Autodesk Revit:** fue el programa principal para hacer el modelo en 3D. A diferencia de AutoCAD, donde los dibujos son solo líneas, Revit permite crear "familias" de objetos inteligentes. Eso quiere decir que un poste no es solo un dibujo, sino un elemento que guarda información sobre sus medidas, su material y otras características. En la Figura 21 se ve un ejemplo de cómo se modeló un poste de concreto, y cómo al cambiarle la altura, el programa ajusta el diámetro en la base y en la punta.

Figura 28

Propiedades paramétricas del poste de concreto armado 15/400/180/405 en Autodesk Revit, mostrando parámetros dimensionables (altura, diámetros, profundidad)



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2026.

Esta forma de trabajar tiene una ventaja grande: si después se decide cambiar la altura de un poste, los herrajes y las abrazaderas que van con él se ajustan también automáticamente. Así se evitan las diferencias de medidas y las especificaciones confusas que tanto problema dan en el método 2D.

B. Autodesk Navisworks: se usó para juntar todos los modelos y buscar conflictos entre ellos. Se juntó el modelo eléctrico con el modelo del terreno y con las construcciones que ya existían, como el Centro de Salud o el estadio. Navisworks permite ver si hay cosas que chocan entre sí, como pasaba con el poste ATBV4 y su retenida, que en el papel parecía que cabía pero en la realidad invadía un área del Centro de Salud. Eso, con planos en 2D, es casi imposible de ver a tiempo.

La combinación de estas herramientas ofrece un entorno de trabajo unificado que garantiza la precisión del diseño, la integridad de los metrados y la optimización del trazado del alimentador, superando las dificultades para verificar distancias de seguridad y la incompatibilidad entre armados.

4.2.3. Definición de estándares y protocolos de trabajo colaborativo

Para asegurar una colaboración efectiva y evitar los errores derivados de la falta de comunicación en los métodos 2D, se establecieron estándares y protocolos rigurosos. Se implementó un Entorno Común de Datos (CDE) donde todo el equipo trabaja sobre la misma versión del modelo. Esto evita que las especialidades trabajen con información desactualizada.

Los protocolos incluyen:

A. Nomenclatura unificada: Se definió un sistema de nombres para archivos, familias y componentes que mantiene la coherencia.

Para este proyecto, la nomenclatura de los armados se basará en los estándares de ELSE., lo que garantiza la compatibilidad, la correcta identificación de cada componente y su revisión para su aprobación.

- B. Protocolos de coordinación:** Se programaron sesiones periódicas de detección de conflictos para resolver interferencias de manera proactiva, antes de la construcción.
- C. Flujo de trabajo de revisión:** Se estableció un proceso formal para la revisión y aprobación de los modelos, asegurando que todos los cambios se documenten y se comuniquen a todo el equipo.

Estos estándares de trabajo colaborativo no solo mejoran la precisión y la coordinación, sino que también promueven una cultura de trabajo más integrada y eficiente, crucial para la gestión exitosa de un proyecto de infraestructura eléctrica.

4.3. Modelado Tridimensional De Los Componentes Del Sistema Eléctrico

La implementación de la metodología BIM mediante Autodesk Revit permitió crear un modelo tridimensional integral del sistema eléctrico de media tensión para el Complejo Deportivo de Espinar. Este modelo supera las limitaciones identificadas en el diseño 2D tradicional, proporcionando una representación precisa y parametrizada de todos los componentes del alimentador.

4.3.1. Estructuras de Soporte y Cimentaciones

a) Postes de Concreto Armado

El proceso de modelado en Revit inició con la creación de una familia paramétrica para el poste de concreto que constituye la columna vertebral del sistema.

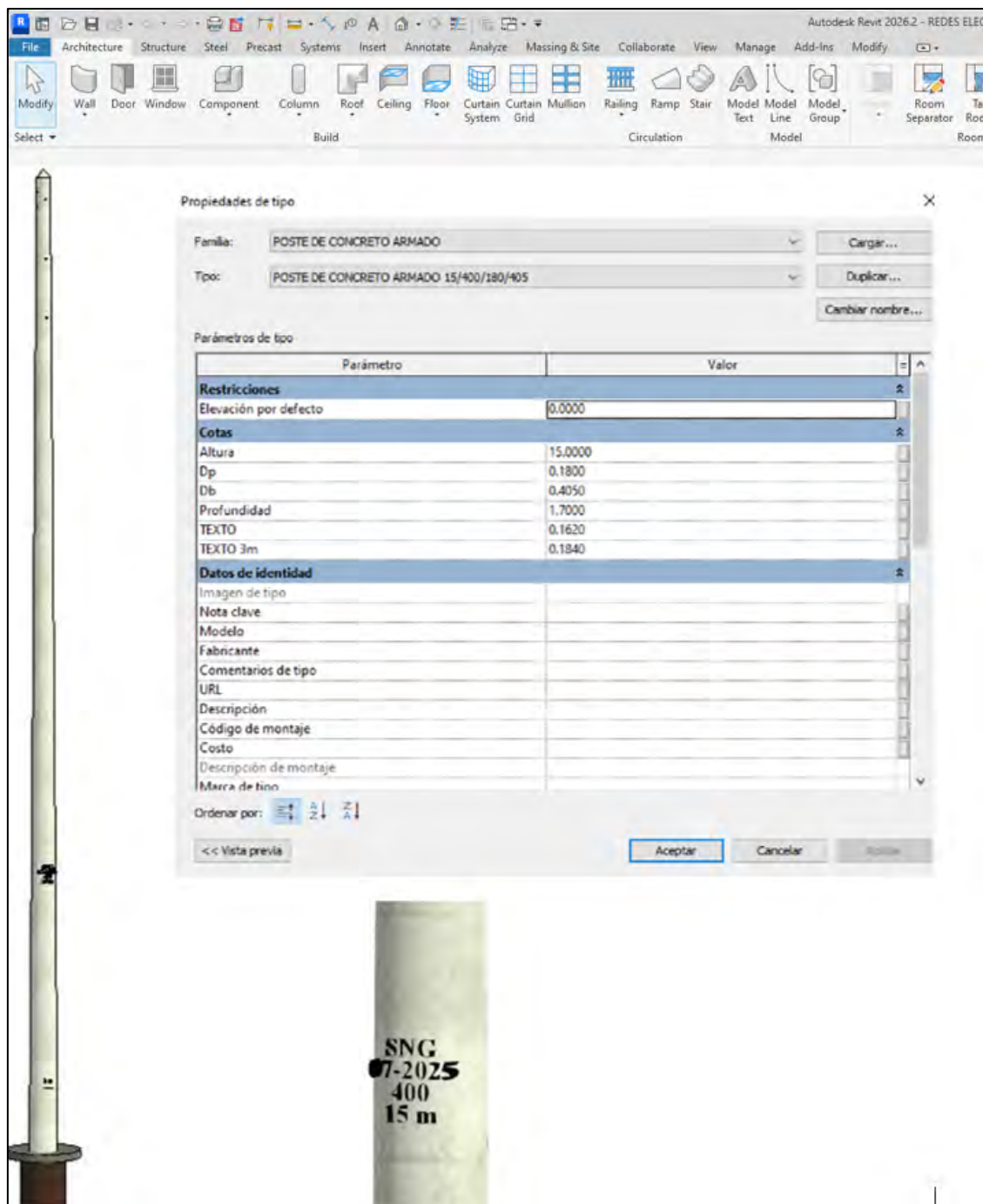
El poste de concreto armado 15/400/180/405 es la configuración principal del proyecto y fue modelado para responder a los requerimientos estructurales específicos. Esta familia paramétrica fue diseñada con una altura total de 15 metros, una capacidad de carga de trabajo de 400 kg en la punta, un diámetro de 180 mm en la punta y un diámetro de 405 mm en la base.

La geometría del poste se modeló con alta precisión, incluyendo los orificios de paso para herrajes y las marcas de altura que facilitan el montaje en campo. Su naturaleza paramétrica

permite que cualquier modificación en sus dimensiones se propague automáticamente a los elementos asociados, manteniendo la coherencia del diseño y garantizando que los herrajes y abrazaderas se ajusten perfectamente.

Figura 29

Propiedades paramétricas del poste de concreto armado 15/400/180/405 en Autodesk Revit, mostrando los parámetros dimensionables (altura, diámetros, profundidad) Modelado 3D del Poste de Concreto Armado 15/400 en Revit



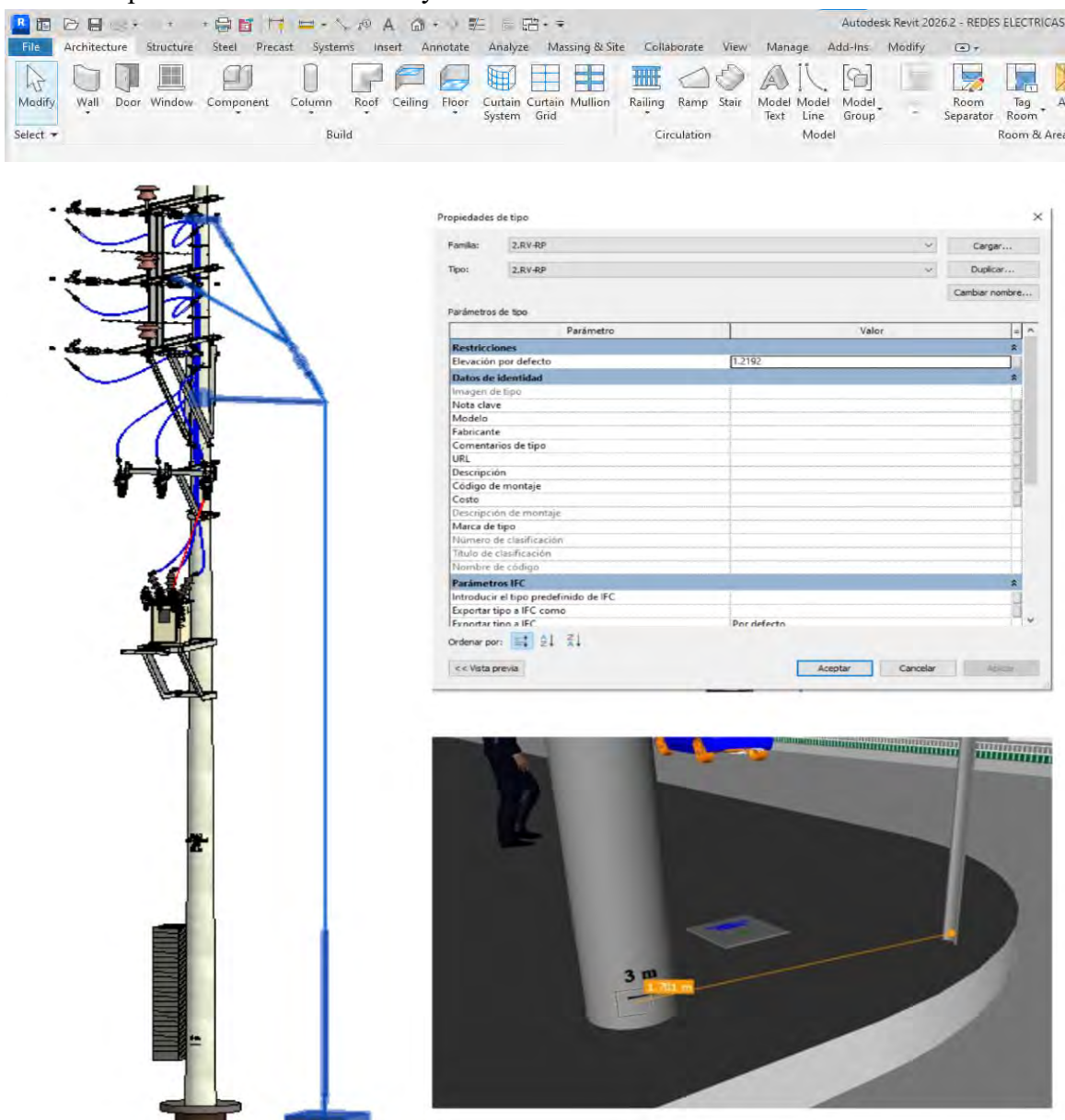
Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024

b) Sistema de Retenida Vertical Tipo Y

El modelado de este armado representó uno de los casos más evidentes de las ventajas del BIM sobre el diseño tradicional. En el plano 2D, este sistema se especificaba con una longitud de apoyo abrazadera para contrapunta de 1.20 metros, dimensión que resultó inadecuada al confrontarla con las condiciones reales del sitio.

Figura 30

Propiedades paramétricas del Sistema de Retenida Vertical Tipo Y en Autodesk Revit, mostrando parámetros de elevación y cotas de instalación



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024 y Navisworks. Configuración de armado según norma IEC 60826:2017.

Al modelar este sistema en Revit se vio que la longitud que realmente hacía falta era de 1.54 metros, es decir, 34 centímetros más de lo que decía el plano.

Esa diferencia, aunque no parece grande, habría afectado la estabilidad de todo el armado. Además, el modelo mostró que la retenida necesitaba un espacio de 1.7 metros para instalarse bien, y justo ahí, en el lugar donde se había pensado poner el poste, estaba el Centro de Salud de Yauri.

Poder ver esto antes de llegar a la obra permitió cambiar de lugar el armado a tiempo, sin tener que andar haciendo modificaciones apuradas cuando ya se estaba construyendo. Así se evitó un problema grande y se aseguró que todo quedara como manda la norma.

4.3.2. Armados Eléctricos Especializados

El sistema contempla dos configuraciones básicas que atienden necesidades operativas específicas de la red de distribución.

El armado de derivación vano flojo se modeló para situaciones donde se requiere una derivación con conductor en configuración floja, minimizando los esfuerzos mecánicos transmitidos al poste principal.

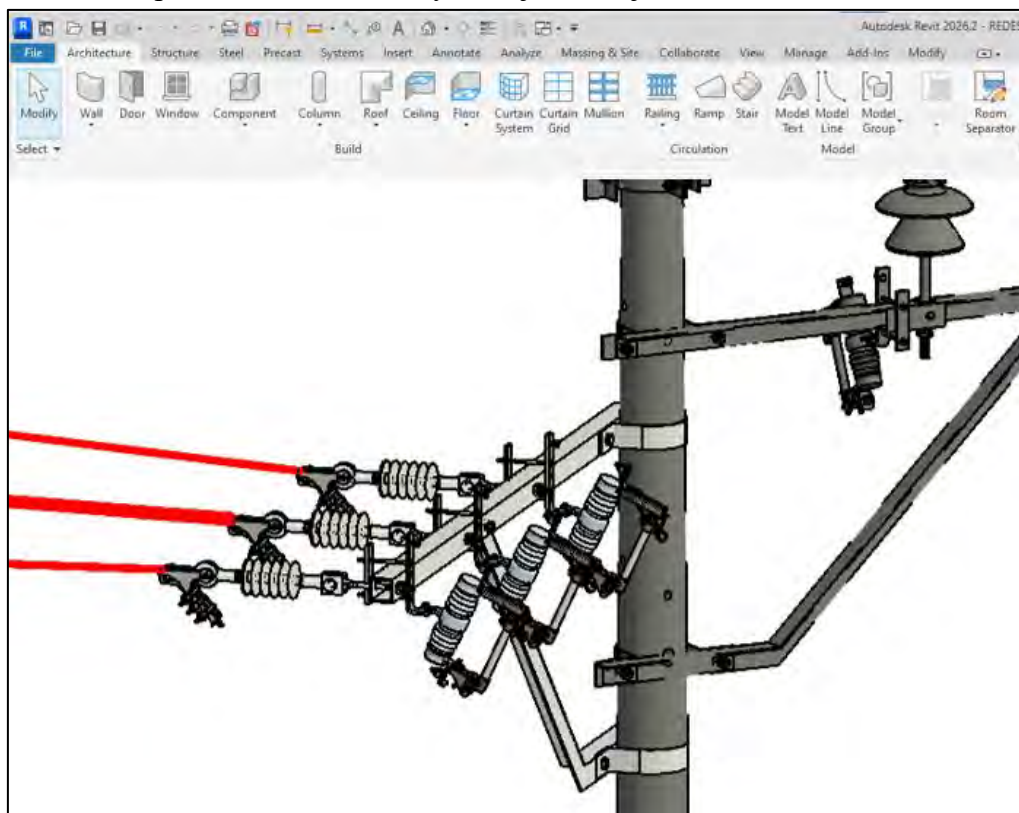
Esta configuración utiliza herrajes especiales de sujeción flexible que permiten el movimiento controlado del conductor.

4.3.2.1. Armado de derivación vano flojo

El armado de derivación vano flojo se modeló para situaciones donde se requiere una derivación con conductor en configuración floja, minimizando los esfuerzos mecánicos transmitidos al poste principal. Esta configuración utiliza herrajes especiales de sujeción flexible que permiten el movimiento controlado del conductor.

Figura 31

Armado de Derivación Vano Flojo en configuración trifásica, mostrando crucetas, aisladores poliméricos de suspensión, conductores y herrajes de sujeción flexible



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2026. Configuración de armado según especificaciones técnicas y estándares ELSE.

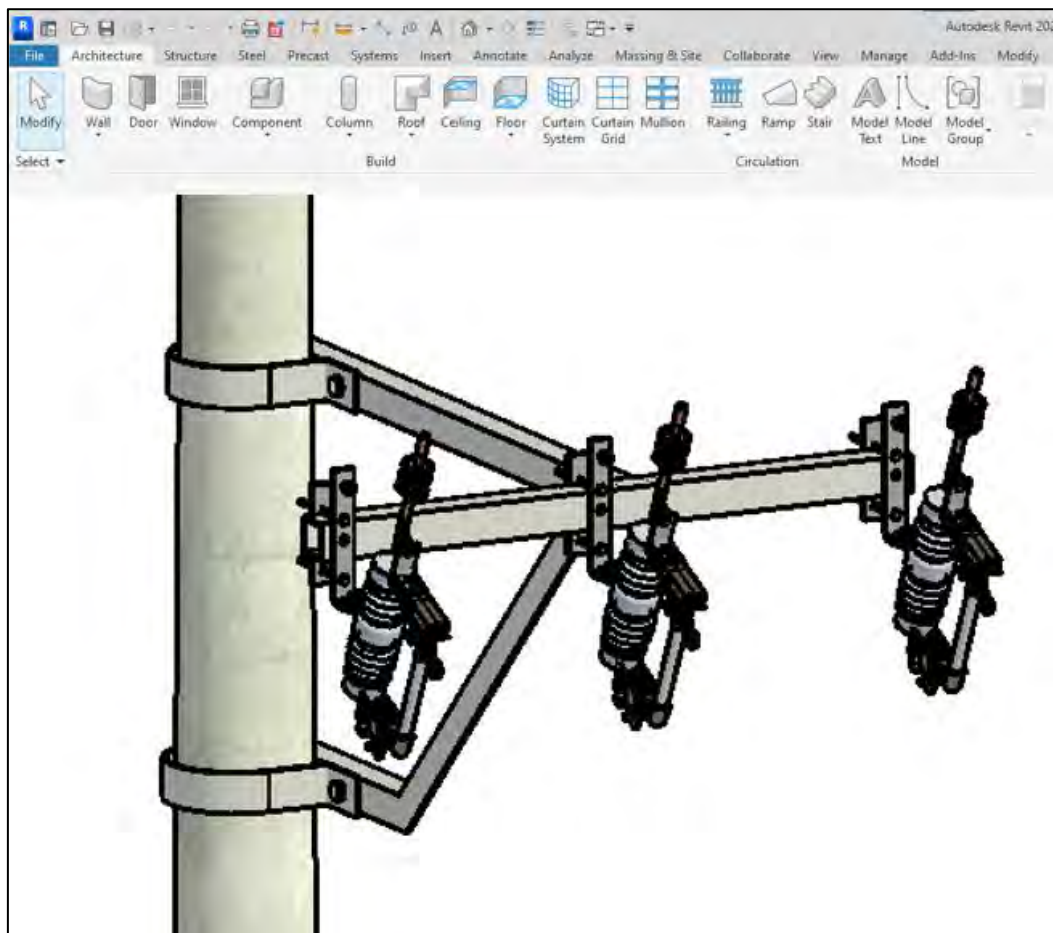
4.3.2.2. Armado de seccionamiento

El armado de seccionamiento incorpora dispositivos de maniobra que permiten la sectorialización de la red para mantenimiento y operación.

Estos dispositivos resultan fundamentales para aislar tramos específicos del alimentador durante labores de mantenimiento correctivo o preventivo, así como para reconectar el suministro en condiciones de falla. El modelo 3D incluye los espacios de seguridad necesarios para la operación manual de los equipos, garantizando que el personal técnico disponga de áreas libres para accionar las palancas o cuchillas sin riesgos eléctricos o mecánicos. Asimismo, se han incorporado las conexiones previstas para sistemas de medición, lo que facilita la futura integración de equipos de telemedición y telecontrol, contribuyendo a la modernización de la red de distribución dentro del marco de redes inteligentes.

Figura 32

Armado de Seccionamiento en configuración trifásica, mostrando seccionadores, aisladores poliméricos de suspensión, crucetas, herrajes y los espacios de maniobra para operación manual



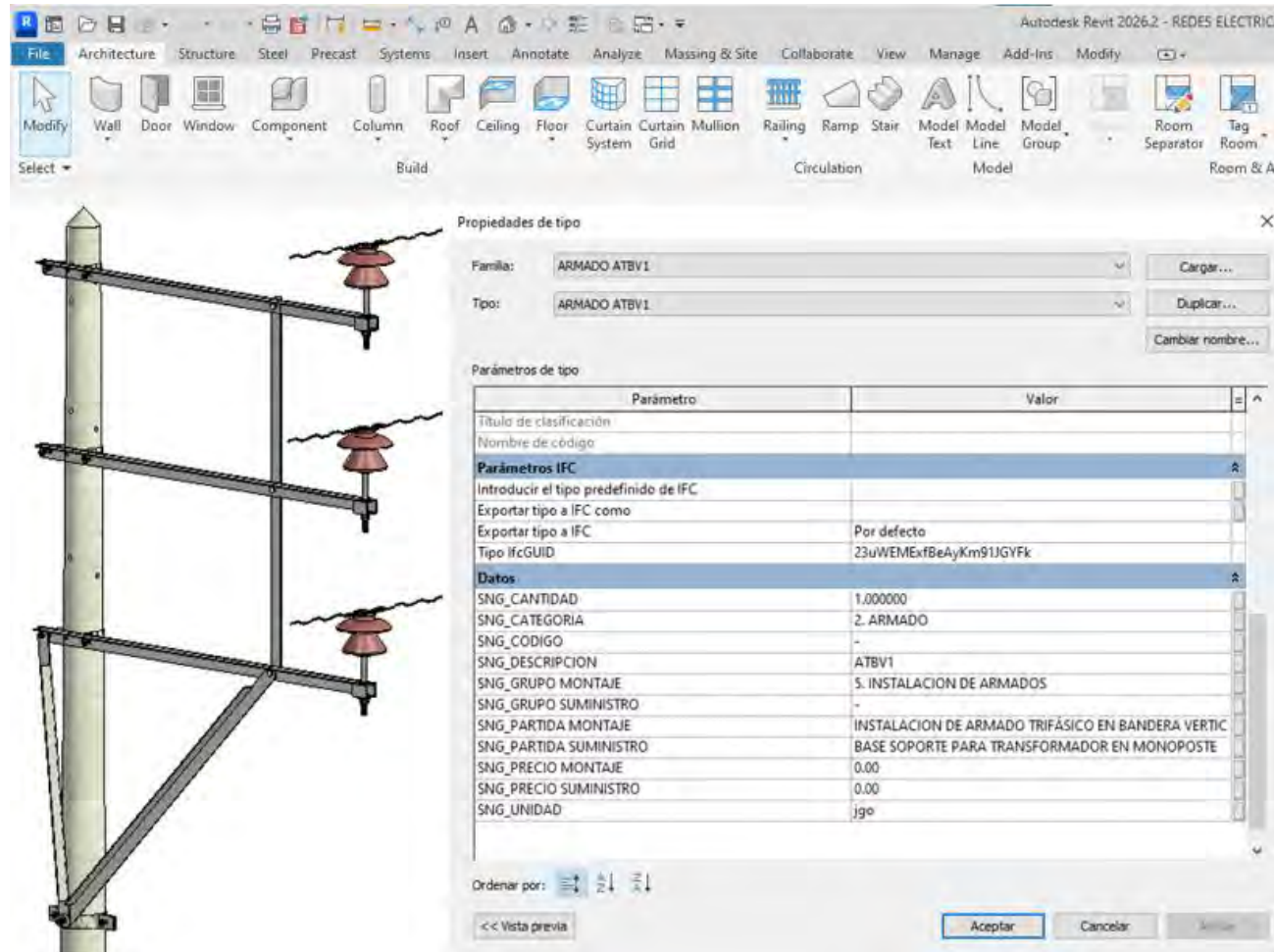
Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024. Configuración de armado según especificaciones técnicas y estándares ELSE.

4.3.2.3. Armado trifásico en bandera vertical de alineamiento (ATBV1)

Se diseñó para la continuidad de línea recta, utilizando aisladores de porcelana tipo PIN ANSI 56-4 que proporcionan sujeción directa al poste. Este tipo de armado es empleado en tramos donde el trazado del alimentador no presenta desvíos ni cambios de dirección, garantizando un soporte adecuado y estable de los conductores. El modelo 3D muestra la cruceta horizontal con separación normalizada entre fases, cumpliendo las distancias eléctricas mínimas establecidas en la normativa CNE. Esta representación tridimensional permite verificar visual y dimensionalmente la correcta disposición de los conductores sobre la cruceta, asegurando que no existan cruces indebidos ni acercamientos peligrosos entre fases o contra la estructura metálica del poste.

Figura 33

Armado ATBV1 (Armado de Alineamiento) en Autodesk Revit: vista previa del modelo 3D y ventana "Type Properties" con metadatos para extracción de metrados y presupuestos (BIM 5D)



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2026..

Utilizando los siguientes insumos:

- A. Aisladores de porcelana tipo PIN ANSI 56-4, que proporcionan sujeción directa al poste.
- B. Espigas para cruceta acopladas a los aisladores.
- C. Abrazaderas tipo CAS y partidas para fijación de crucetas y conductores.

4.3.2.4. Armado trifásico en bandera vertical de anclaje (ATBV3)

Esta configuración permite absorber los esfuerzos longitudinales generados por el cambio de dirección, mientras mantiene la flexibilidad necesaria para las dilataciones térmicas. Este armado fue diseñado para garantizar la continuidad de la línea en tramos rectos, integrando los siguientes componentes clave:

A. Aisladores:

Aisladores de porcelana tipo PIN ANSI 56-4 para sujeción directa.

Aisladores poliméricos de suspensión para soporte de conductores.

B. Herrajes y sujeciones:

Espigas para cruceta y abrazaderas tipo CAS doble para fijación de crucetas.

Grapas de anclaje tipo pistola y conectores de doble vía para conductores.

Pernos dobles armados y tuercas ojo para reforzar la estructura.

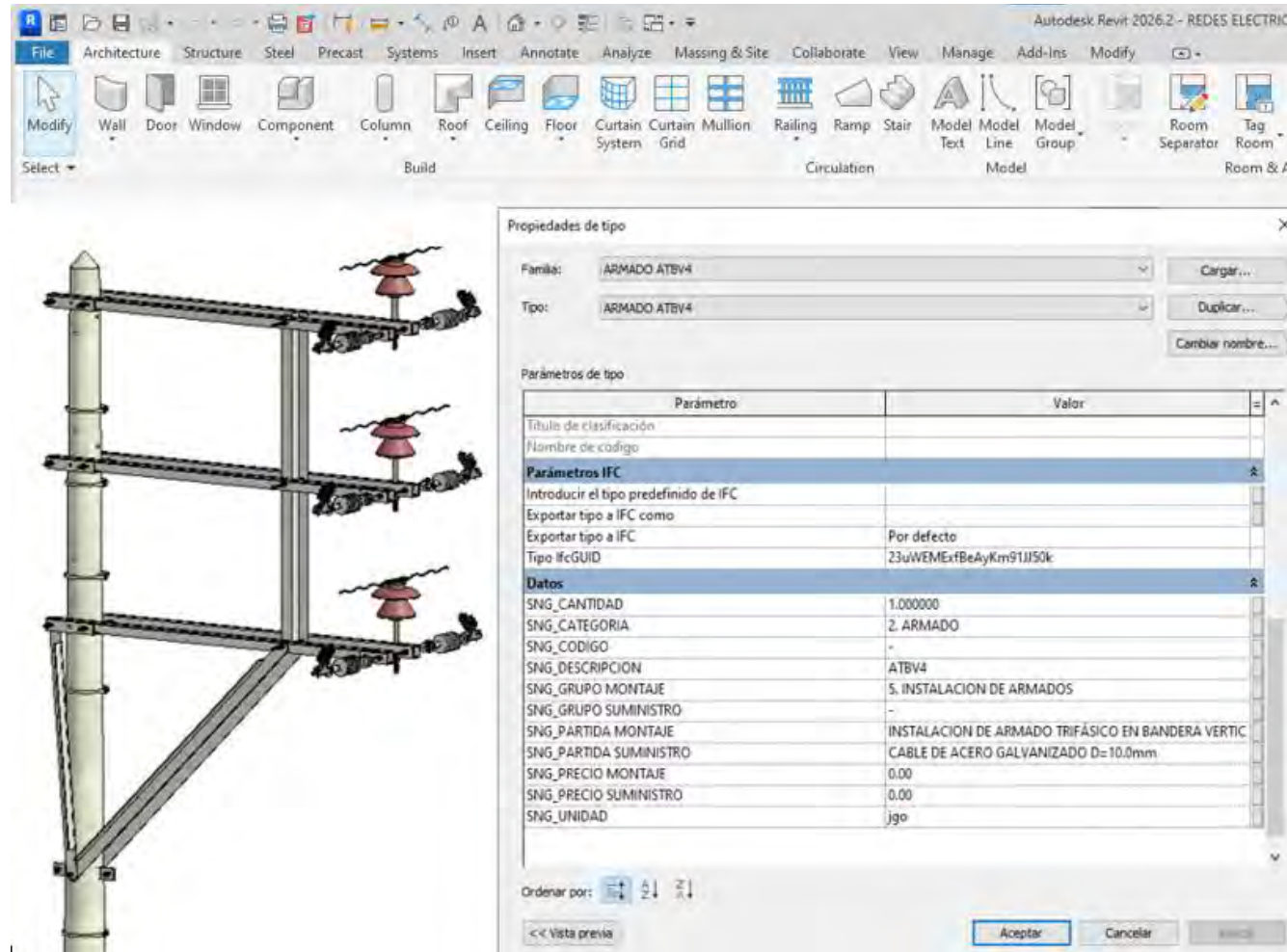
C. Estructura metálica:

Crucetas de perfil angular y riostras para distribución de cargas.

Varillas de amarre preformadas y alambre de amarre para fijación de conductores.

Figura 34

Armado ATBV3 (Armado de Anclaje) en configuración trifásica, mostrando aisladores de porcelana tipo PIN, aisladores poliméricos de suspensión (650 mm, 36 kV), crucetas, riostras, grapas de anclaje y herrajes de sujeción



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2026.

4.3.2.5. Armado trifásico en bandera vertical de fin de línea (ATBV5)

Este armado constituye la terminación del alimentador, utilizando aisladores poliméricos tipo suspensión de 650 mm y 36 kV.

Esta configuración incluye el sistema de descarga a tierra integrado y el seccionamiento para bajada de cable subterráneo, elemento importante para la continuidad hacia la red subterránea.

El diseño de este armado es crítico, ya que en él convergen las funciones de anclaje mecánico de los conductores aéreos, la transición a cable subterráneo y la protección contra sobretensiones mediante el sistema de descarga a tierra.

En este proceso, se integraron los siguientes componentes principales:

- A. **Aisladores poliméricos;** Estos aisladores soportan los esfuerzos mecánicos generados por la tensión de los conductores en el punto de fin de línea, además de garantizar el aislamiento eléctrico respecto a la estructura metálica.

Su naturaleza polimérica ofrece ventajas en ambientes con alta contaminación ambiental, reduciendo las labores de limpieza y mantenimiento.

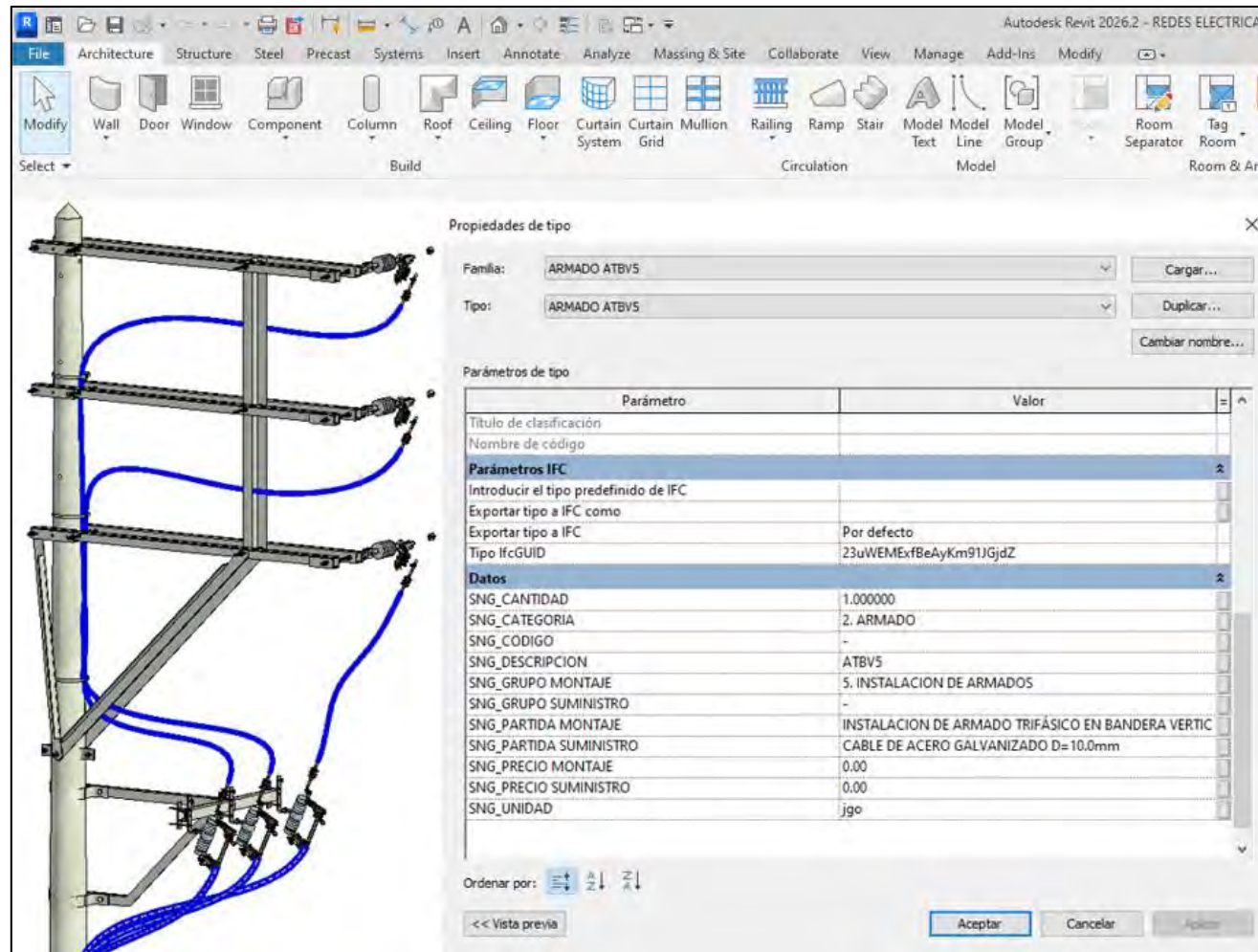
- B. **Estructura metálica compuesta por:** Compuesta por crucetas angulares (izquierda y derecha), perfiles angulares y riostras.

Esta estructura proporciona la rigidez necesaria para resistir los esfuerzos de tracción de los conductores, transmitiéndolos adecuadamente al poste de concreto. Las riostras refuerzan la unión entre las crucetas y el poste, evitando deformaciones o aflojamientos con el tiempo.

- C. **Sistema de sujeción:** Abrazadera tipo CAS doble, Grapas de anclaje tipo pistola, Pernos dobles armados, Grilletes de anclaje rectos.

Figura 35

Armado ATBV5 (Fin de Línea) en configuración trifásica, mostrando aisladores poliméricos de suspensión (650 mm, 36 kV), crucetas, herrajes, sistema de descarga a tierra y conexión para transición a cable subterráneo



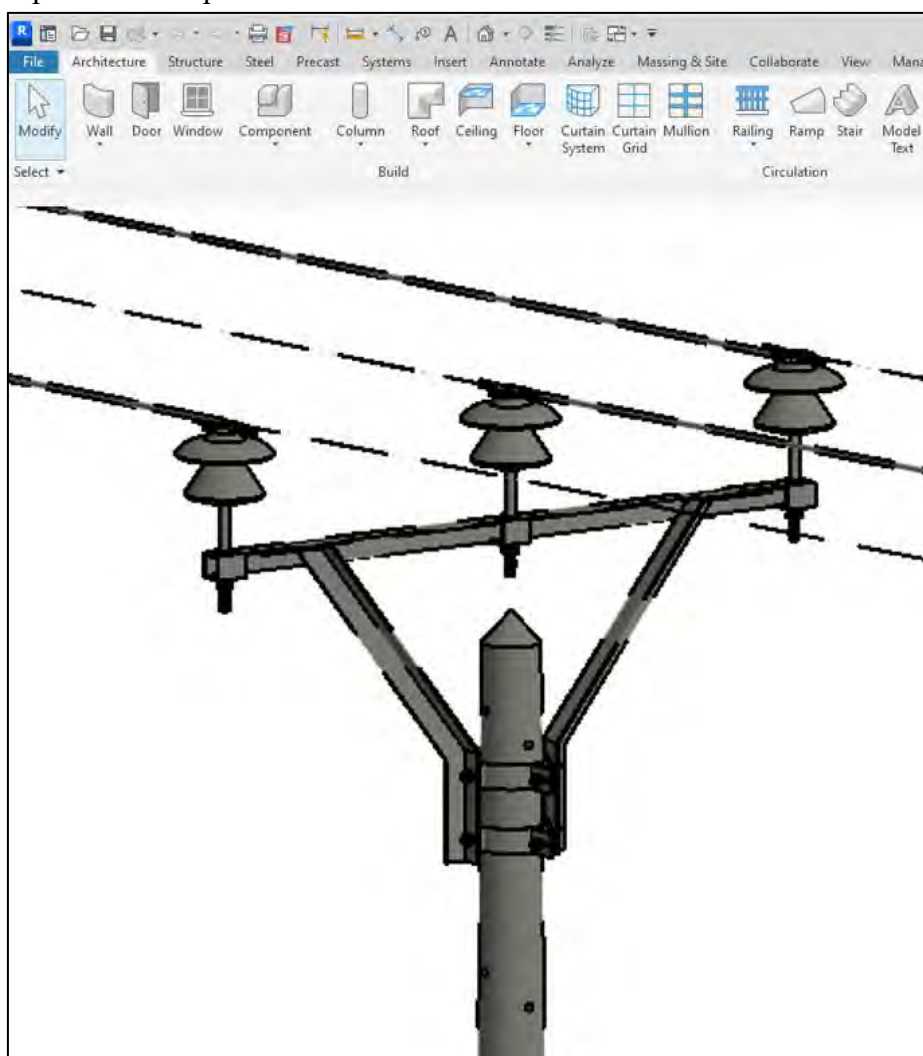
Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024. Configuración de armado según especificaciones técnicas y estándares ELSE.

4.3.2.6. Armado trifásico existente (AT1)

Este armado existente representa un nodo importante en la red de distribución, ya que funciona como punto de derivación para la coordinación eléctrica con la nueva red de media tensión (22.9 kV). Su correcto modelado es importante para garantizar la integración técnica y segura entre la infraestructura actual y la ampliación proyectada, la cual alimentará al Complejo Deportivo del Distrito de Espinar, Cusco.

Figura 36

Armado trifásico existente (AT1) en configuración de alineamiento, modelado en 3D como punto de derivación y coordinación para la nueva red de media tensión (22.9 kV) del Complejo Deportivo de Espinar



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024. Configuración de armado según especificaciones técnicas y estándares ELSE, conforme a norma IEC 60826:2017 para diseño de líneas aéreas, e IEEE Std 1243-1997.

4.3.3. Componentes de Aislamiento y Protección

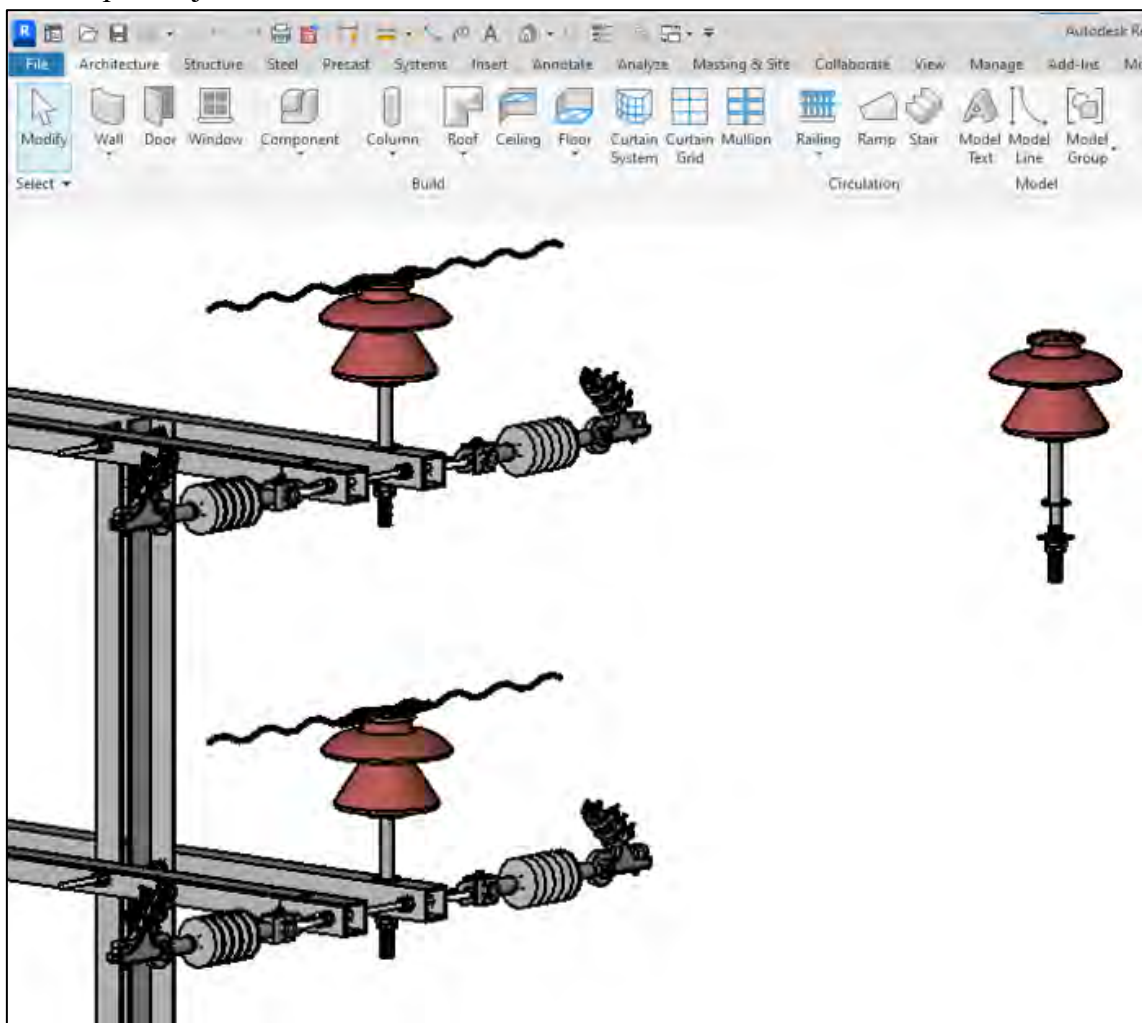
4.3.3.1. Sistemas de Aislamiento

El modelado de los sistemas de aislamiento requirió la creación de familias que reflejaran las características técnicas de cada componente.

El aislador de porcelana tipo PIN ANSI 56-4, utilizado en los armados ATBV1, ATBV3 y ATBV4, se modeló incluyendo las dimensiones normalizadas y el sistema de fijación directa al poste mediante perno roscado.

Figura 37

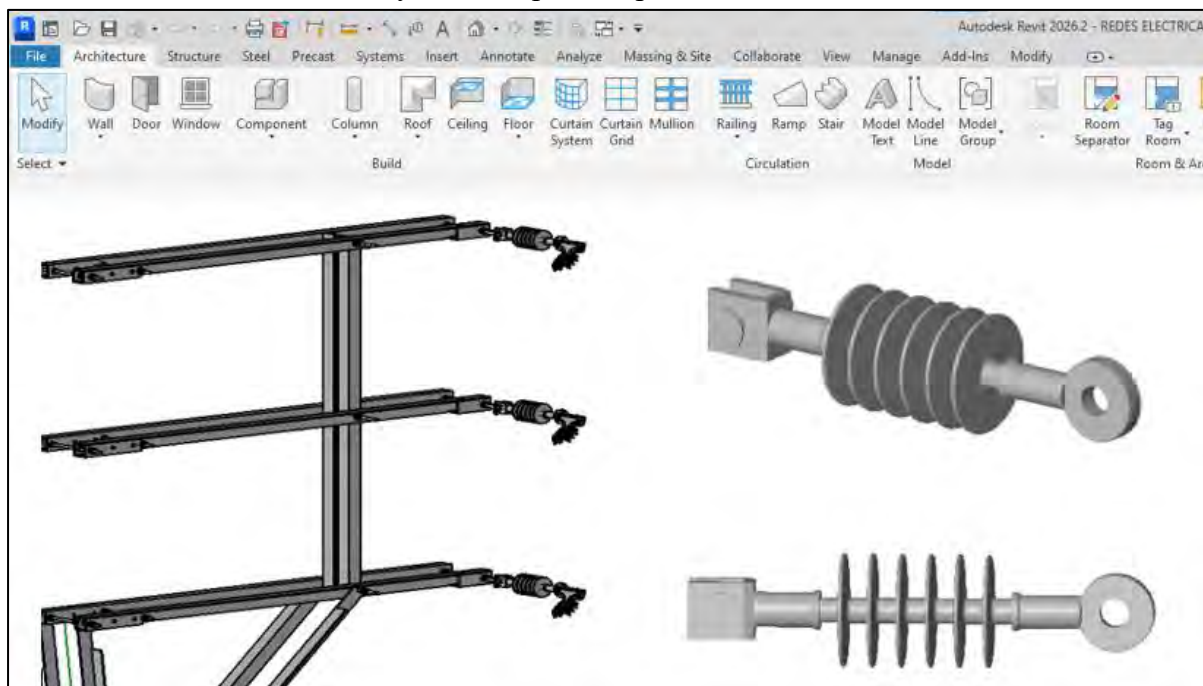
Aislador PIN ANSI 56-4, modelado en 3D (Revit), utilizado en los armados ATBV1, ATBV3 y ATBV4 para sujeción directa de conductores en líneas aéreas de media tensión



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024.

Figura 38

Aislador Polimérico Tipo Suspensión (650 mm, 36 kV), modelado en 3D (Revit), utilizado en los armados ATBV3, ATBV4 y ATBV5 para suspensión de conductores



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024.

4.3.3.2. Equipos de Protección

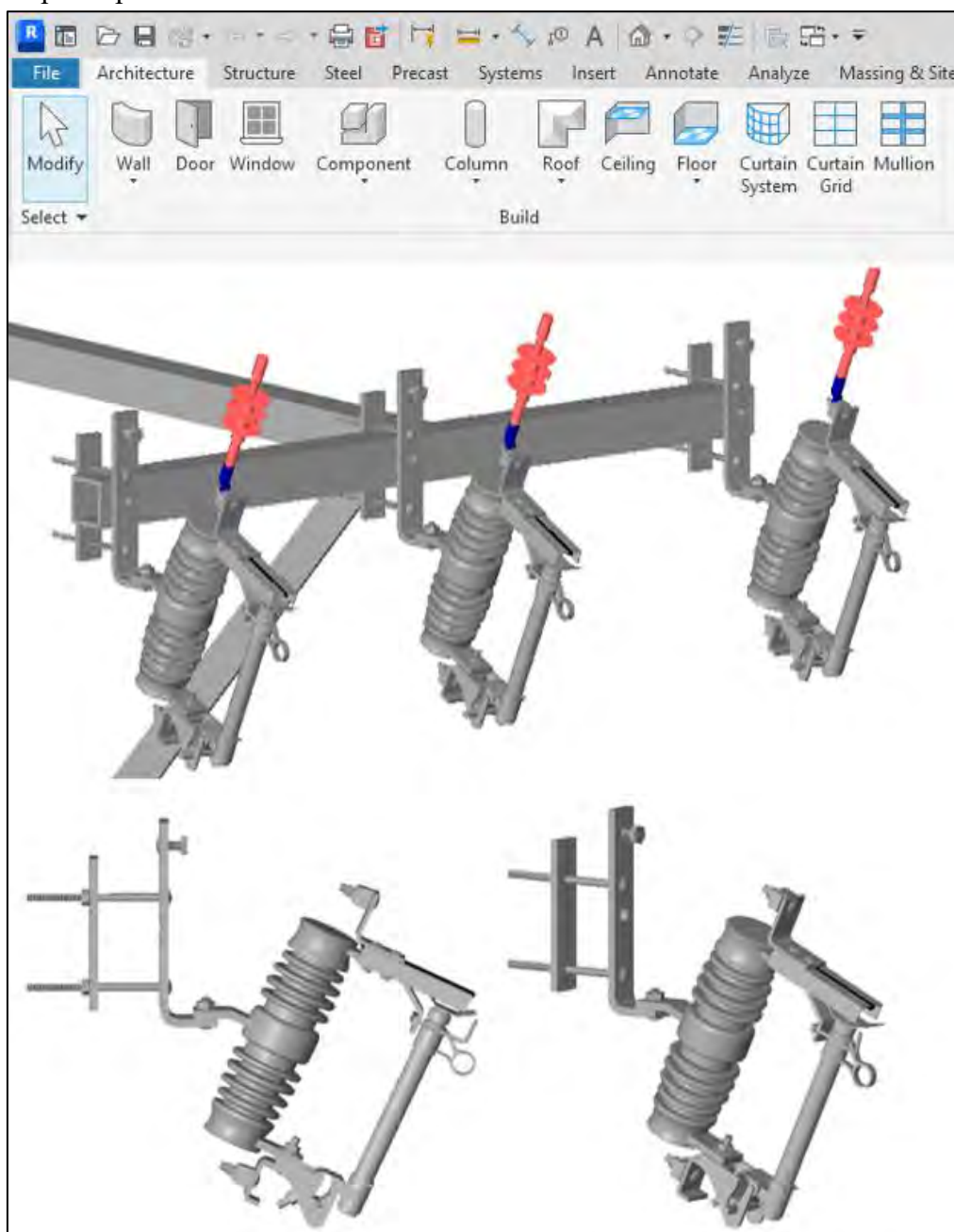
El modelado de los seccionadores no tuvo como único propósito la representación gráfica dentro del modelo tridimensional, sino que respondió a una lógica orientada a la operación y mantenimiento futuros del sistema.

Por ello, se consideró cuidadosamente los espacios requeridos para la maniobra segura de estos dispositivos, tanto durante su instalación inicial como en las intervenciones posteriores programadas. El modelo permite verificar el cumplimiento de las distancias mínimas normativas entre los seccionadores y demás componentes del sistema, así como evaluar la accesibilidad para su operación manual.

Adicionalmente, se incluyó la información correspondiente a sus conexiones eléctricas, con miras a una eventual integración futura con sistemas de control remoto y automatización de la red.

Figura 39

Seccionadores trifásicos de media tensión modelados en 3D (Revit), mostrando los tres cuerpos seccionadores, aisladores poliméricos de soporte, bases de fijación y espacios de maniobra para operación manual

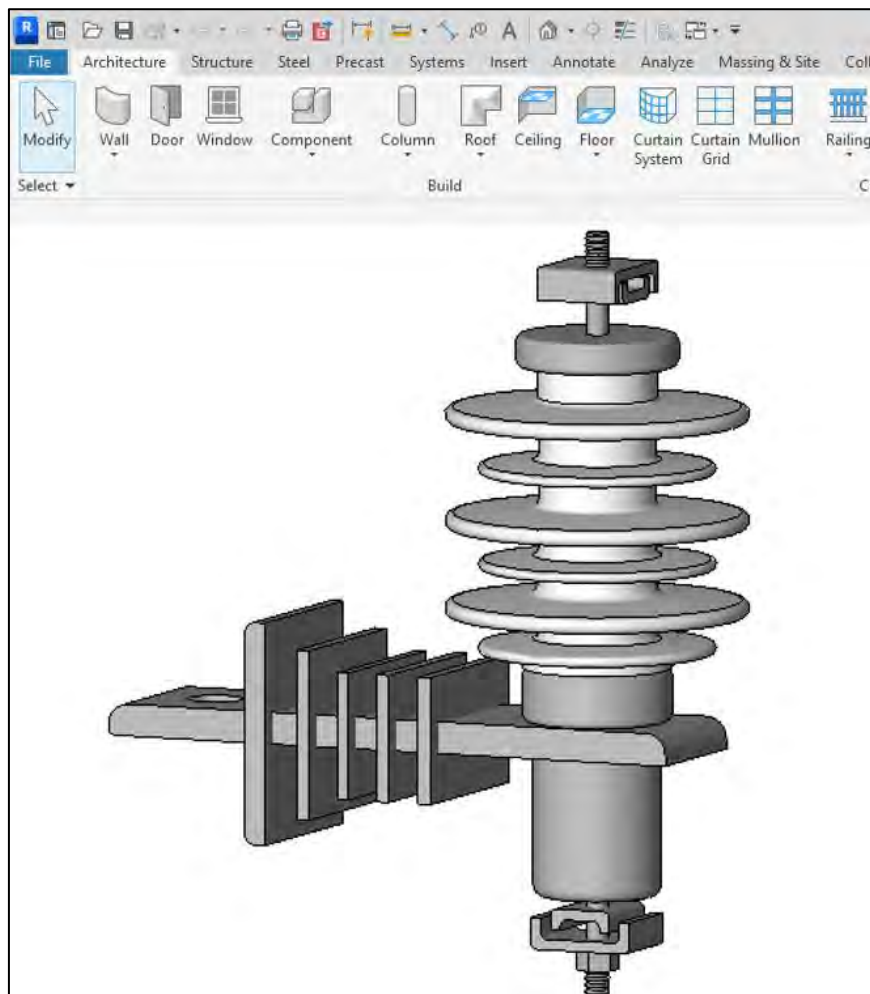


Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024. Diseño conforme a norma IEC 62271-103:2021 para seccionadores e interruptores de puesta a tierra en corriente alterna, e IEC 62271-1:2017 para especificaciones comunes de media tensión.

El modelado de los pararrayos de 21kV consideró no solo las especificaciones técnicas del equipo, sino también su posicionamiento estratégico dentro de la red.

Figura 40

Pararrayos de 21 kV (óxido metálico) modelados en 3D (Revit), mostrando los tres pararrayos (uno por fase), aisladores poliméricos, conectores de tierra y posicionamiento estratégico en la red de media tensión



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024. Especificaciones según norma IEC 60099-4:2014.

4.3.4. Transformador de medición

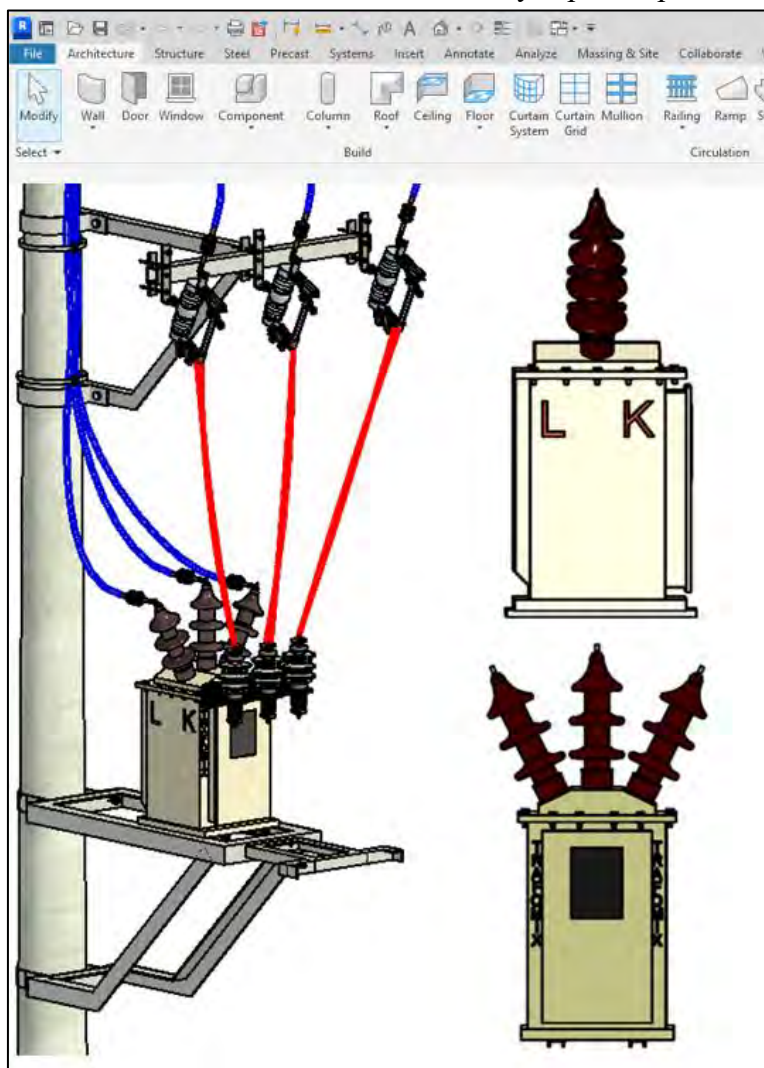
El transformador de medición Trafomix, integrado en el armado ATBV3, se modeló con todas sus dimensiones reales, incluyendo las conexiones primarias y secundarias, y los espacios necesarios para mantenimiento y lectura de instrumentos.

La representación 3D facilita la planificación de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, permitiendo verificar previamente el acceso a los bornes de conexión, la visibilidad de los instrumentos de medición y el espacio libre para el operador. Además, el modelo incluye

los puntos de anclaje del transformador a la estructura, las distancias de seguridad respecto a conductores activos y el espacio requerido para la instalación de equipos.

Figura 41

Transformador de Medición Trafomix Integrado modelado en 3D (Revit), mostrando el cuerpo del transformador, bornes de conexión, aisladores y espacios para mantenimiento



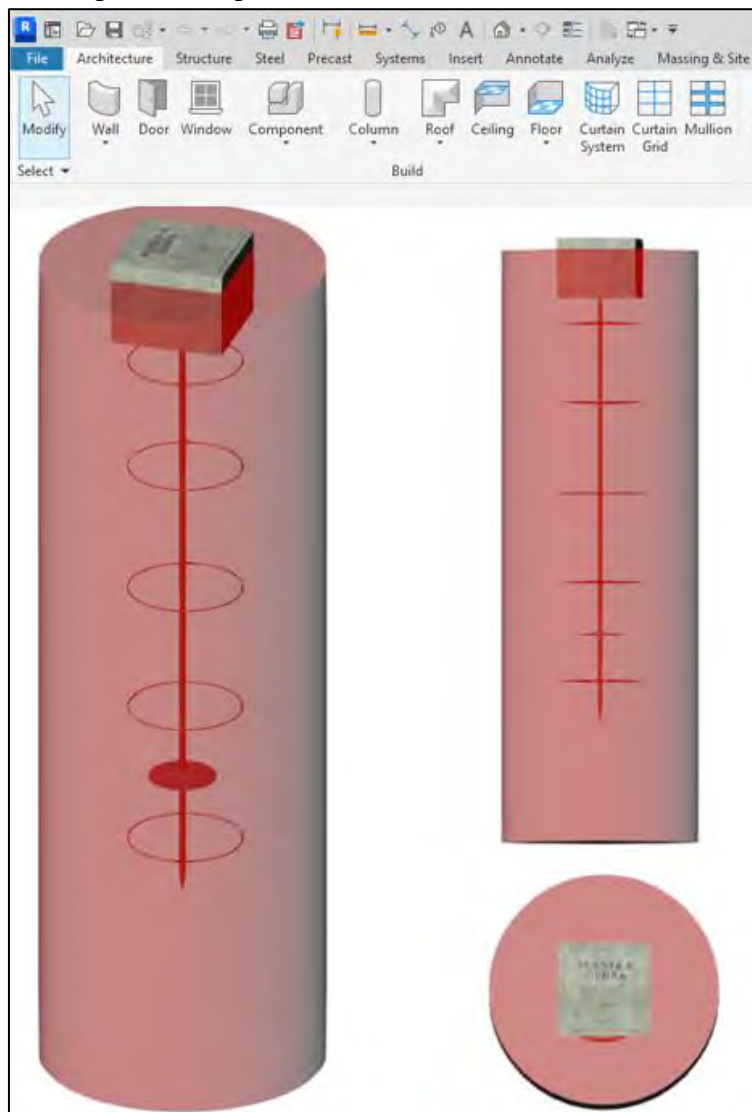
Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2026. Diseño conforme a norma IEC 61869.

4.3.5. Sistema de Puesta a Tierra

El sistema de puesta a tierra, llamado PAT-1, se modeló completo, incluyendo los electrodos y la caja donde se hacen las mediciones. Con el modelo se puede ver claramente cómo están dispuestos los electrodos y dónde queda la caja, algo que en los planos en 2D no siempre se entiende bien.

Figura 42

Modelado BIM del Sistema de Puesta a Tierra PAT-1 en 3D, mostrando electrodos (jabalinas), conductor de bajada, caja de registro para medición, conexiones a tierra de equipos y disposición espacial completa del sistema



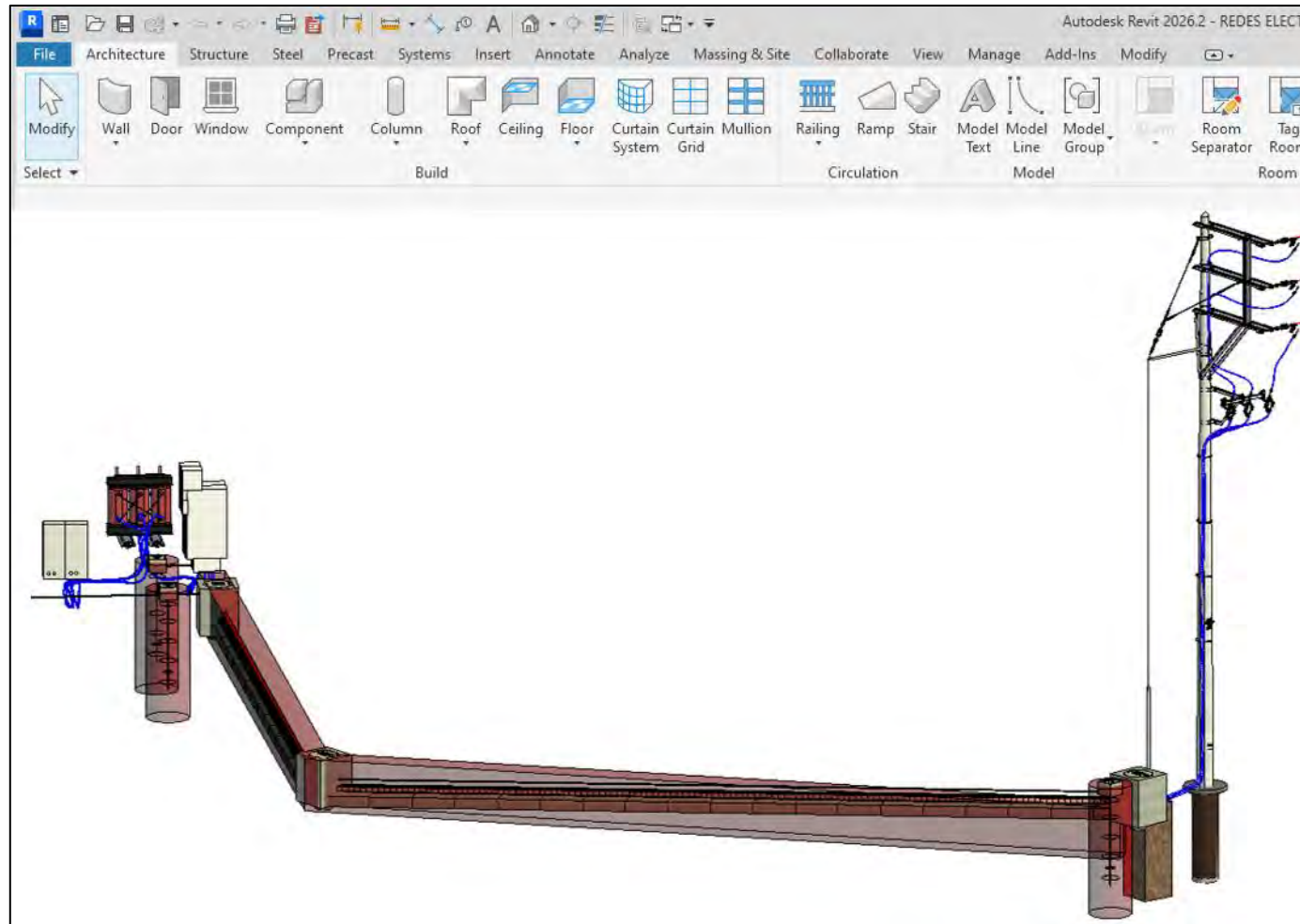
Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024. Especificaciones según norma IEC 62305-3:2010 para protección contra el rayo.

4.3.6. Red de Distribución Subterránea

La red de distribución subterránea se diseñó para asegurar una alimentación eléctrica eficiente y segura. Este sistema parte de un punto de seccionamiento en la red aérea, específicamente desde el armado de fin de línea.

Figura 43

Sistema de Red de Distribución Subterránea en 3D (Revit), mostrando el punto de transición aéreo-subterráneo (armado ATBV5), buzones de media tensión (BZ-3, BZ-4, BZ-5), ductos de PVC, cables N2XSJ 50 mm² (18/30 kV), canalizaciones y conexión a la subestación tipo caseta

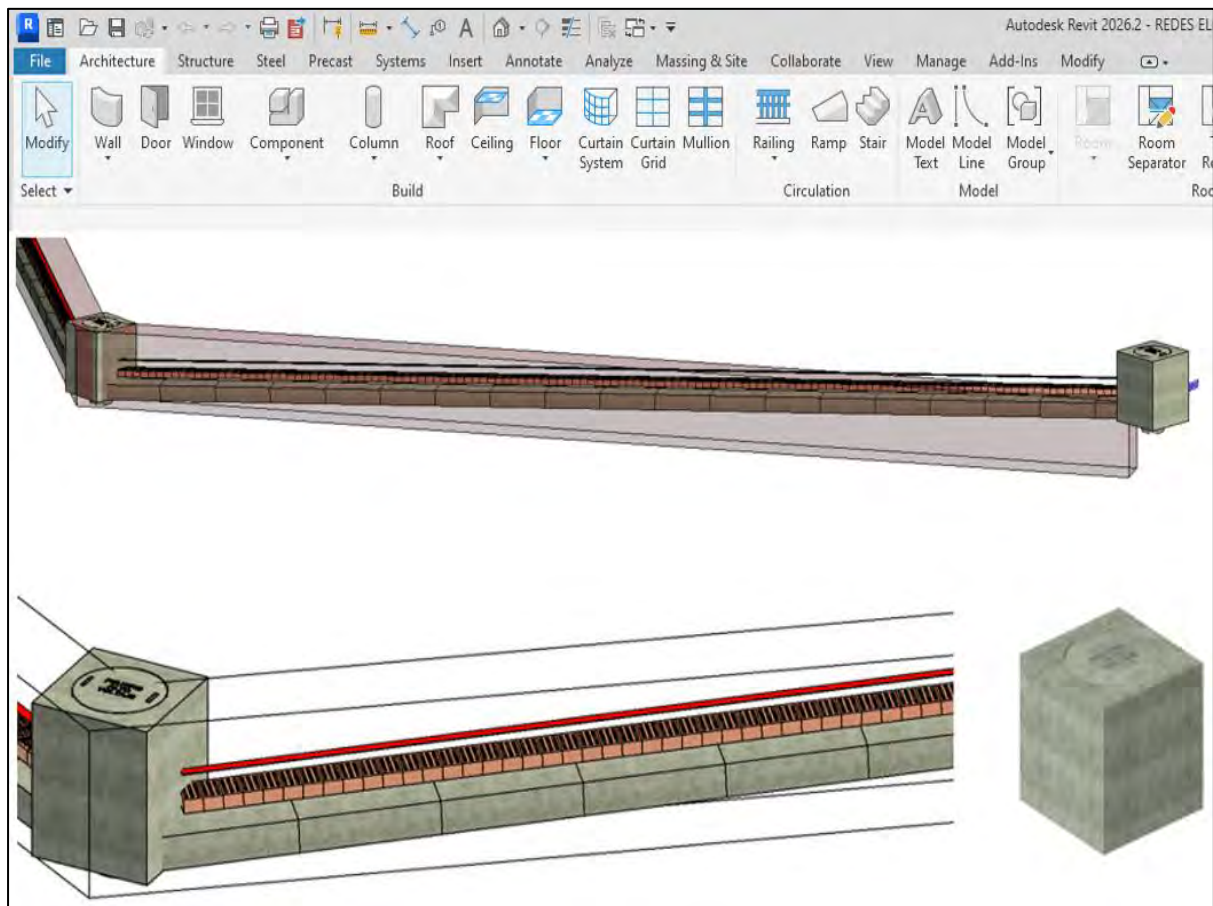


Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024.

El detalle de buzón de media tensión se modeló considerando todas las especificaciones técnicas requeridas para el manejo seguro de cables de media tensión.

Figura 44

Detalle de buzón de media tensión (BZ) en el sistema de red subterránea, mostrando dimensiones internas, tapa de acceso, escalones de seguridad, sistema de drenaje y canalizaciones de entrada/salida para cables N2XSY



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024.

El modelo incluye las dimensiones internas necesarias para las maniobras de cables, el sistema de tapas con especificaciones, y los elementos de drenaje y ventilación.

Los escalones y elementos de seguridad se modelaron según las normas de seguridad industrial.

4.3.7. Subestación de Distribución

La subestación tipo caseta se modeló como un sistema integral que incluye tanto la estructura civil como el equipamiento eléctrico interno. La caseta prefabricada de concreto se diseñó con dimensiones exactas para albergar de forma segura todos los equipos.

El modelo incluyó una acometida subterránea en ducto PVC-SAP de 4"Ø con cables N2XSY de 50 mm², 18/30 kV para la conexión principal.

Dentro de la caseta, se modelaron las celdas de media tensión, incluyendo una celda de llegada y medición de 24 kV y una celda con interruptor de potencia de 24 kV con gas SF6.

Un transformador seco encapsulado de 400 kVA (3Ø 22.9/0.22-0.40 kV Dyn5) se modeló para reducir la tensión, y un tablero autosoportado N°1 de distribución de baja tensión (1.2x1.0x2.1 m).

Finalmente, la subestacion cuenta con 3 pozos a tierra PAT-1, se modeló para garantizar la seguridad del sistema.

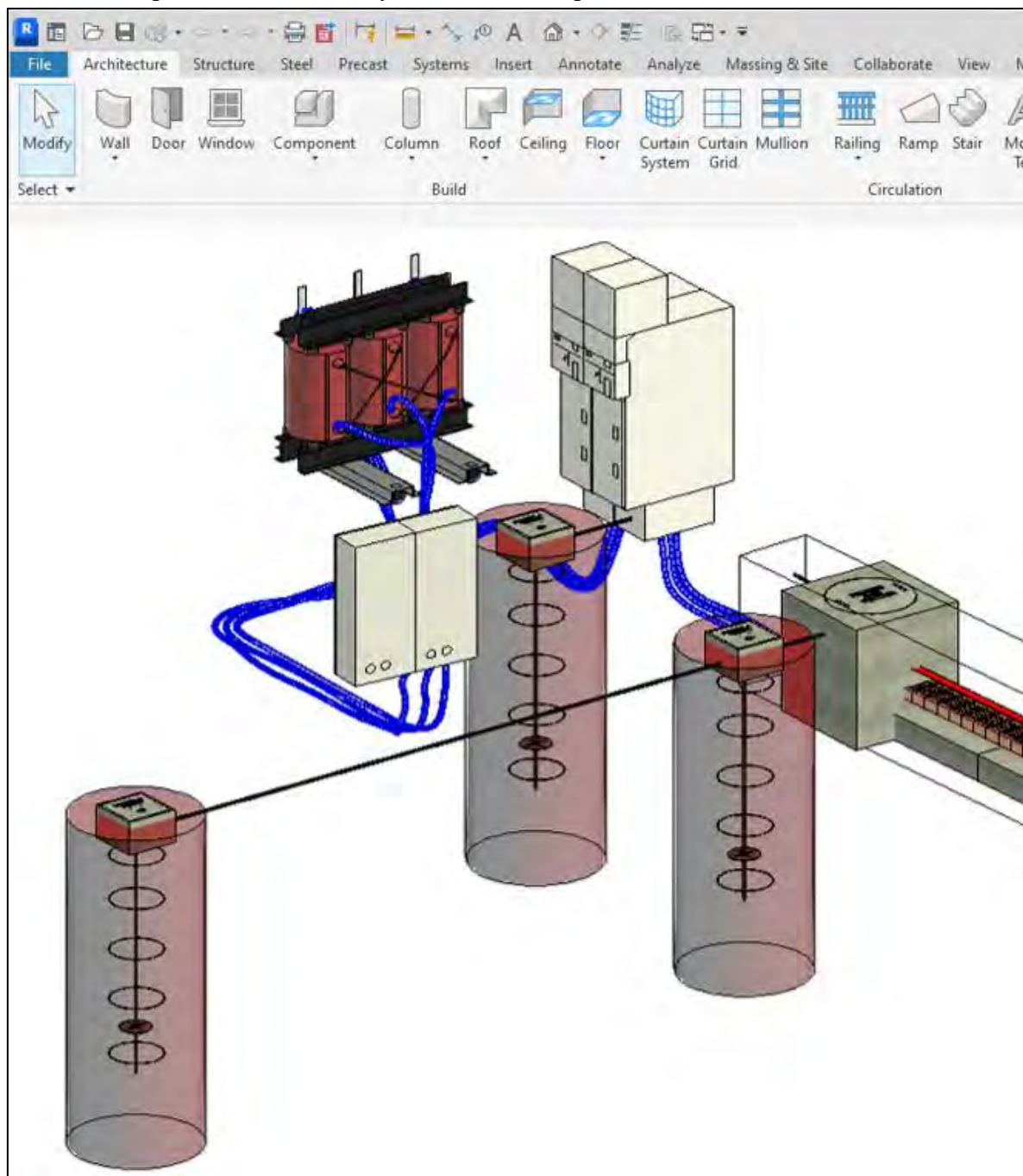
El modelo BIM resolvió uno de los problemas más significativos del diseño 2D: la disposición espacial del sistema de puesta a tierra interno.

La representación tridimensional permitió optimizar la configuración de la malla de tierra, considerando las distancias mínimas de seguridad y la accesibilidad para el mantenimiento.

La disposición final de los equipos dentro de la caseta, las distancias de seguridad entre ellos y la accesibilidad para mantenimiento se pueden apreciar en la siguiente figura, que muestra una vista interior del modelo BIM desarrollado en Revit:

Figura 45

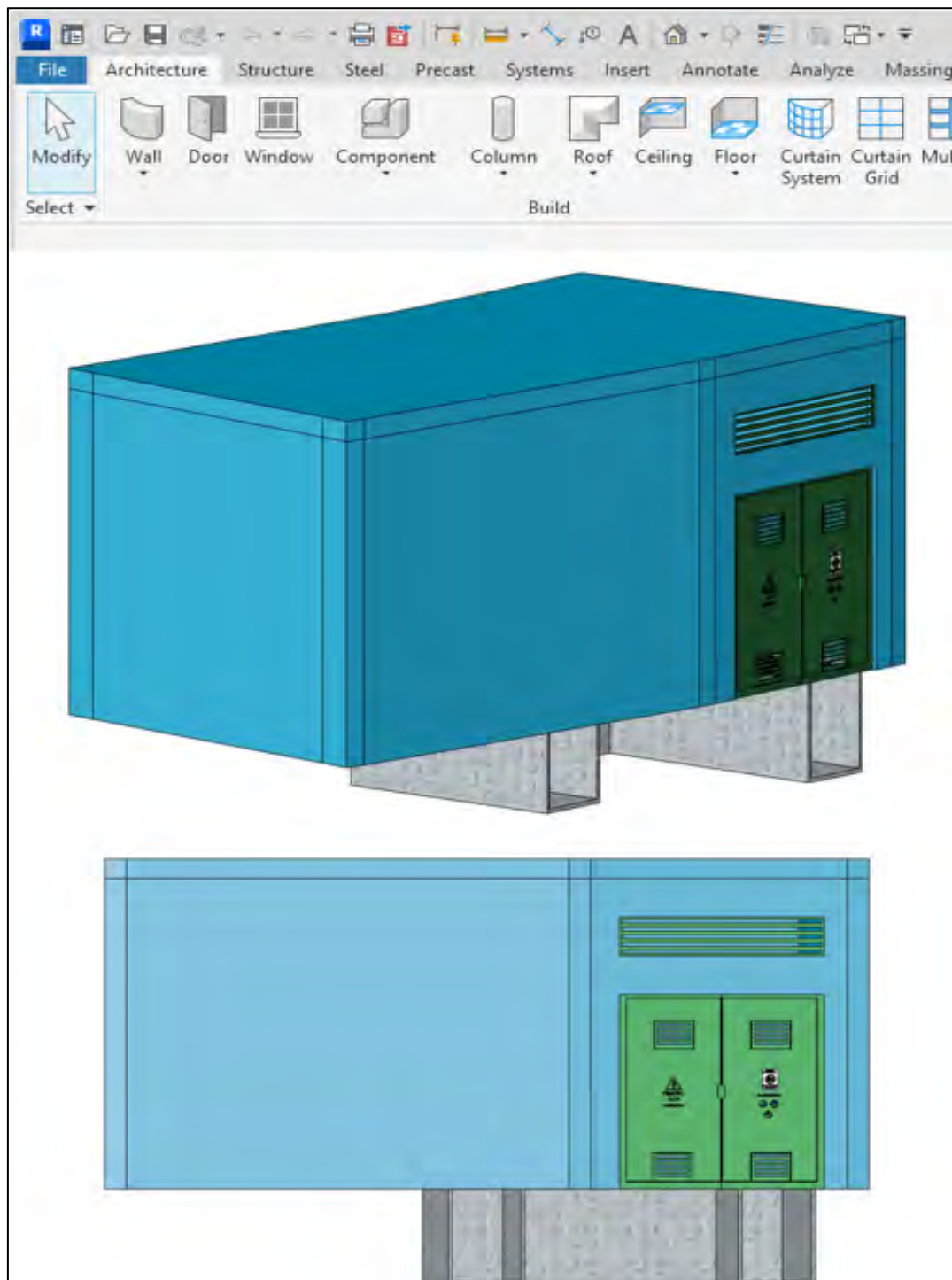
Modelo 3D interior de caseta mostrando disposición de equipos, distancias de seguridad, accesibilidad para mantenimiento y coordinación espacial



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024. Diseño conforme a norma IEC 62271-200:2021 para conjuntos bajo envoltorio metálica para corriente alterna de tensiones asignadas superiores a 1kV e inferiores o iguales a 52kV, e IEC 60076-11:2018 para transformadores de distribución tipo seco.

Figura 46

Subestación Tipo Caseta - Vista Exterior, mostrando la estructura prefabricada de concreto, dimensiones generales, puerta de acceso, rejillas de ventilación, sistema de drenaje, y el entorno urbano circundante



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024. Especificaciones según norma IEC 62271-202:2022 para subestaciones prefabricadas de alta tensión/baja tensión, e IEC 60529:2013 para grados de protección proporcionados por las envolventes (código IP).

4.4. Modelado Del Contexto Urbano Y Topográfico

Es fundamental crear el contexto tridimensional del proyecto para garantizar la correcta integración del alimentador con la infraestructura existente.

El modelado del entorno urbano incluyó elementos que en el diseño 2D tradicional solo aparecían como referencias planimétricas sin dimensiones reales.

Complejo Deportivo - Estadio: Se modeló la estructura completa del estadio del Complejo Deportivo de Espinar, incluyendo las graderías, el campo de juego, y las instalaciones auxiliares.

Centro de Salud de Yauri: El modelado del Centro de Salud reveló la incompatibilidad espacial mencionada anteriormente, donde el armado ATBV3 con retenida vertical requería un espacio de 1.7 metros que no estaba disponible en la ubicación originalmente propuesta.

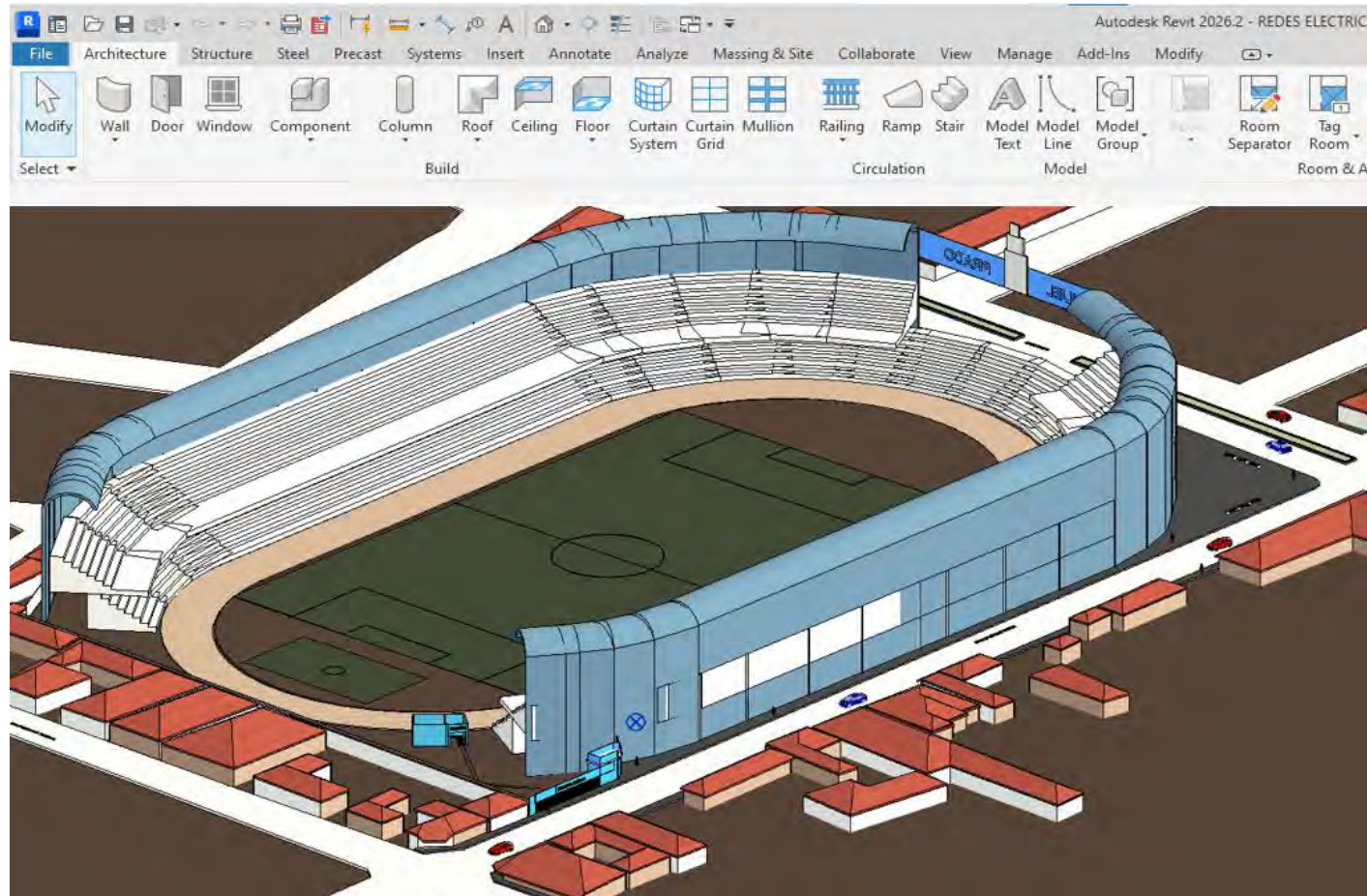
Calles y Vías de Acceso: Se modelaron las calles principales y secundarias por donde discurre el trazado del alimentador, incluyendo anchos de vía, aceras, y elementos de señalización urbana.

Este modelado tridimensional permitió verificar que los postes no interfirieran con la circulación vehicular y peatonal, y que cumplan con las distancias mínimas establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones. Mediante el modelo se pudo comprobar en entorno virtual el retiro adecuado de los postes respecto a las bermas, veredas y accesos peatonales, evitando futuras observaciones durante la supervisión o reclamos por obstrucción de la vía pública.

La representación 3D de las vías también facilitó la planificación logística para el transporte e instalación de los postes de concreto, identificando las rutas de acceso más adecuadas y los puntos donde podrían requerirse permisos especiales para el tránsito de equipos pesados. Esta planificación anticipada permitió reducir imprevistos durante la etapa de construcción, optimizando los tiempos de movilización y evitando demoras por restricciones de carga o maniobras en espacios reducidos.

Figura 47

Modelo BIM del Contexto Urbano y Topográfico en 3D (Revit), mostrando el Complejo Deportivo (estadio, graderías, campo de juego), el Centro de Salud de Yauri, las calles aledañas (Jr. Cusco, Calle Ladislao), el trazado del alimentador de media tensión (aéreo y subterráneo), postes, armados y la subestación tipo caseta integrada en el entorno



Fuente: Elaboración propia en Autodesk Revit 2024.

4.5. Integración Multidisciplinaria En El Modelo BIM

Poner BIM en marcha en el proyecto de Espinar no fue solo cambiar de programa, sino también cambiar la manera de trabajar. En el método tradicional, cada especialista (el electricista, el que ve las estructuras, el que hace los planos civiles) trabaja por su lado con sus propios archivos, y después hay que juntar todo a ver si coincide. Con BIM, en cambio, todos trabajan sobre el mismo modelo, lo que hace más fácil ponerse de acuerdo, evita malentendidos y permite ir viendo los cambios mientras se hacen, no cuando ya está todo dibujado.

4.5.1. Coordinación entre el personal

Con BIM, la forma de coordinar entre especialistas cambió por completo. En vez de que cada uno trabaje aparte, todos se juntan alrededor de un mismo modelo, donde la información está ordenada y es la misma para todos. Para que esto funcionara, se definieron bien los roles de cada persona y se fijaron reglas de trabajo que aseguraran que la información estuviera siempre al día.

4.5.2. Estructura organizacional del equipo BIM

La coordinación del equipo se organizó mediante una estructura que incluye:

Coordinador BIM: Responsable de la supervisión general del modelo y establecimiento de protocolos de trabajo. En el proyecto del Complejo Deportivo de Espinar, este rol fue fundamental para resolver los conflictos de información que anteriormente generaban los S/ 60,025.55 en sobrecostos identificados en el método 2D.

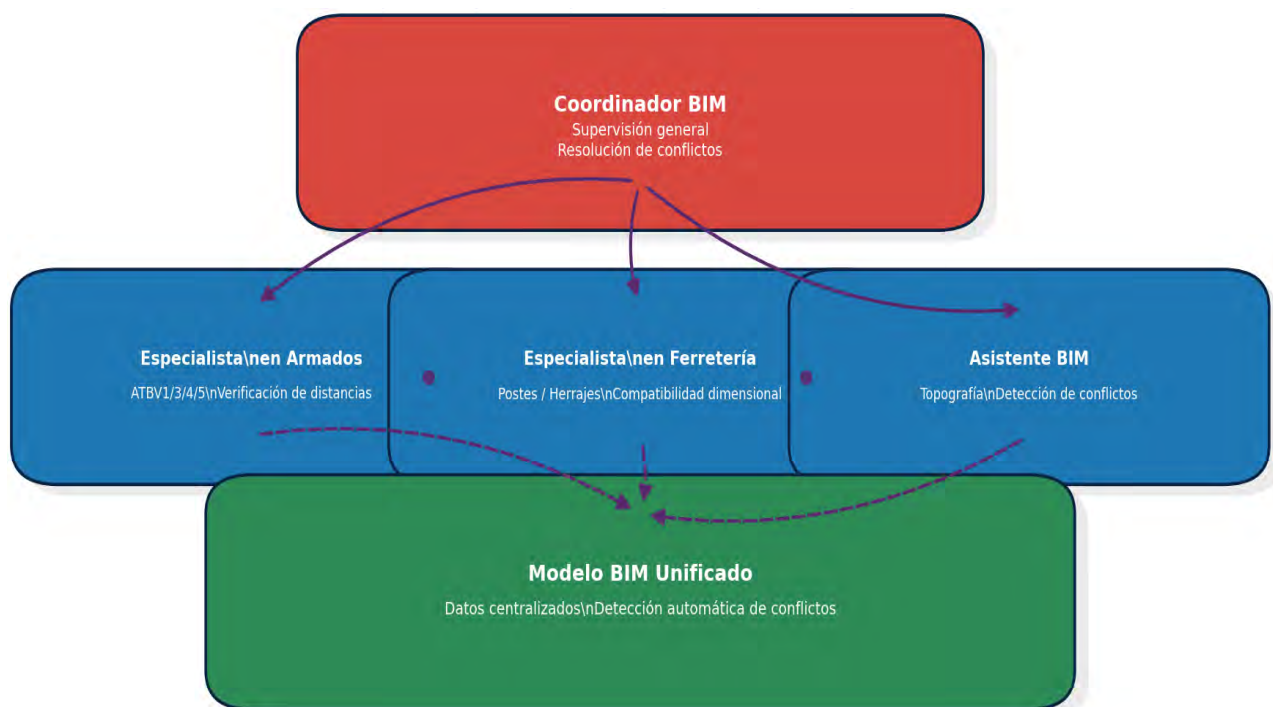
Especialista en armados: Especialista encargado del modelado de componentes eléctricos principales, armados especiales (ATBV1, ATBV3, ATBV4, ATBV5) y verificación del cumplimiento de distancias de seguridad eléctrica.

Especialista en ferretería: Responsable del modelado de postes, herrajes, sistemas de retenida y componentes menores. Su coordinación con el ingeniero senior garantiza la compatibilidad dimensional entre componentes.

Asistente: Encargado de la integración topográfica, modelado de infraestructura urbana existente y tareas de apoyo en el modelado. Su participación fue determinante para detectar el conflicto espacial del armado ATBV4 con el Centro de Salud de Yauri.

Figura 48

Flujo de coordinación BIM, mostrando la estructura organizacional del equipo BIM (Coordinador, Especialista en Armados, Especialista en Ferretería, Asistente BIM) y su integración hacia un Modelo BIM Unificado con datos centralizados y detección automática de conflictos



Fuente: Elaboración propia.

Integración del contexto urbano y topográfico

La integración del contexto representa una ventaja significativa del modelo BIM sobre el diseño 2D tradicional, incorporando la realidad completa del sitio.

A. Modelado topográfico integrado

Representación tridimensional que permite calcular automáticamente longitudes reales de postes, eliminando discrepancias como la del apoyo abrazadera para contrapunta (1.54 m real vs 1.20 m especificado en 2D).

B. Infraestructura existente

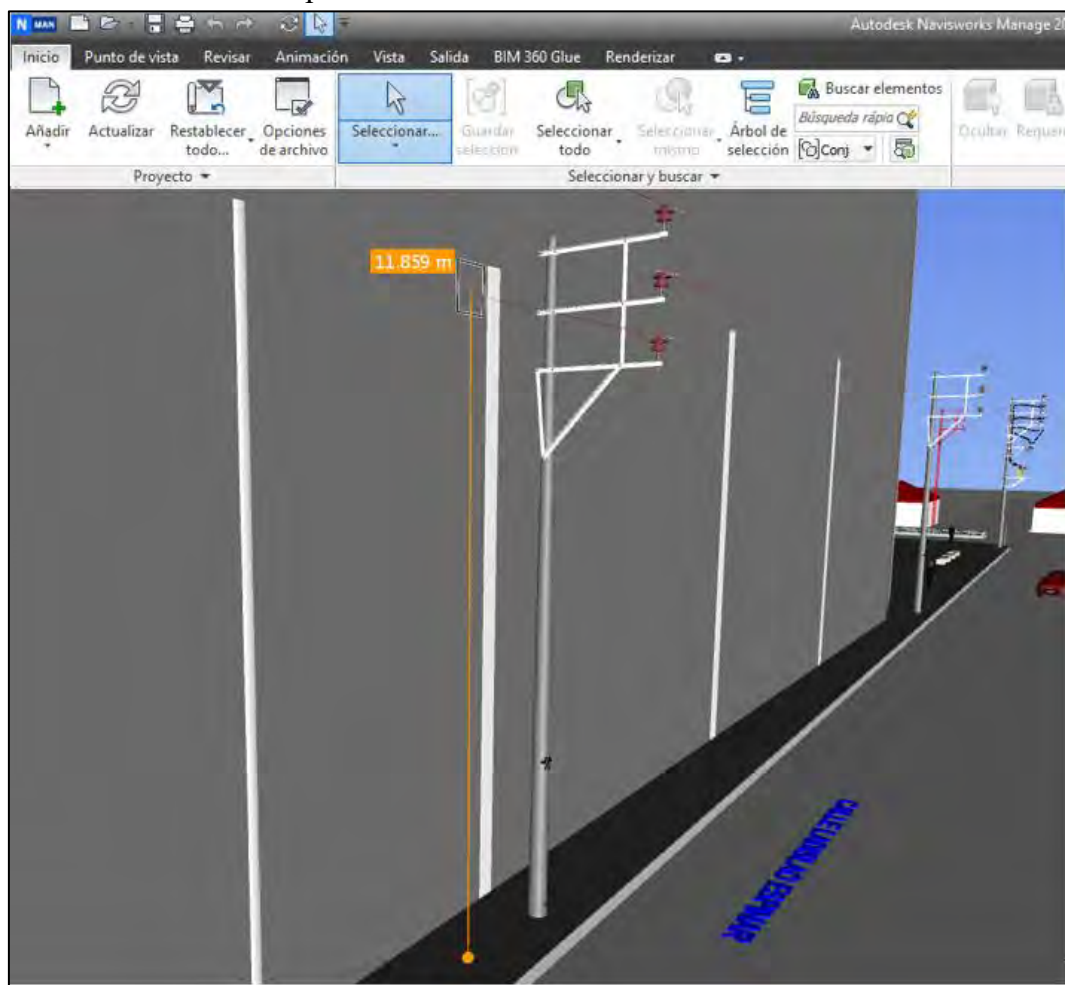
Centro de Salud de Yauri: El modelado permitió identificar que el armado ATBV4 requería 1.7 metros que invadían las instalaciones, evitando modificaciones costosas durante construcción.

Complejo Deportivo: Representación 3D incluyendo circulaciones y servicios auxiliares, optimizando ubicación de la subestación.

Vías urbanas: Verificación de distancias mínimas verticales según el código nacional de electricidad.

Figura 49

Verificación de distancias mínimas de seguridad en el modelo BIM, mostrando la medición de alturas de conductores respecto al suelo



Fuente: Elaboración propia en NavisWork 2024.

4.5.3. Colaboración en tiempo real y control de versiones

La implementación de herramientas de colaboración transformó el trabajo del equipo, eliminando problemas de versiones desactualizadas del método 2D tradicional.

4.5.3.1. Entorno Común de Datos (CDE)

Modelo central único: Todo el equipo trabaja sobre la misma versión, eliminando discrepancias como la diferencia de alturas de postes (13 vs 15 metros) entre planos.

Sincronización automática: Las modificaciones se sincronizan automáticamente permitiendo visualización de cambios en tiempo real.

4.5.3.2. Herramientas de colaboración

Comunicación contextual: Comentarios vinculados directamente a elementos específicos del modelo, eliminando ambigüedades.

Revisiones colaborativas: Sesiones sobre el modelo 3D donde todos visualizan simultáneamente los elementos en discusión.

4.5.3.3. Impacto en productividad

Reducción de coordinación: De 4 horas semanales (método tradicional) a 2 horas semanales (BIM).

Eliminación de duplicación: Se eliminó completamente la duplicación que representó 3 días adicionales en el diseño tradicional.

La implementación del trabajo colaborativo bajo un entorno centralizado y con protocolos definidos permitió superar las limitaciones inherentes al diseño convencional en 2D. Como resultado, se logró una reducción de aproximadamente 60,000 soles, así como una disminución de 15 días en el plazo de ejecución del proyecto.

Los resultados se pueden medir:

- A. Las reuniones para coordinar pasaron de 4 horas por semana a solo 2, o sea, se gasta la mitad del tiempo en eso.
- B. Se acabó el problema de hacer dos veces el mismo trabajo, que antes significaba perder 3 días.
- C. Con el control automático de versiones, ya no pasó lo de antes, que unos planos decían que los postes eran de 13 metros y otros de 15.

4.6. Detección Automática De Conflictos Espaciales

La detección automática de conflictos (clash detection) constituye uno de los usos BIM de mayor impacto para la coordinación de proyectos eléctricos. Mediante la herramienta Clash Detective de Autodesk Navisworks, el software analiza el modelo federado e identifica intersecciones o penetraciones entre elementos, permitiendo su resolución en fase de diseño antes de que se materialicen en obra.

4.6.1.1. Conflicto 1: Interferencia conductor - elemento estructural

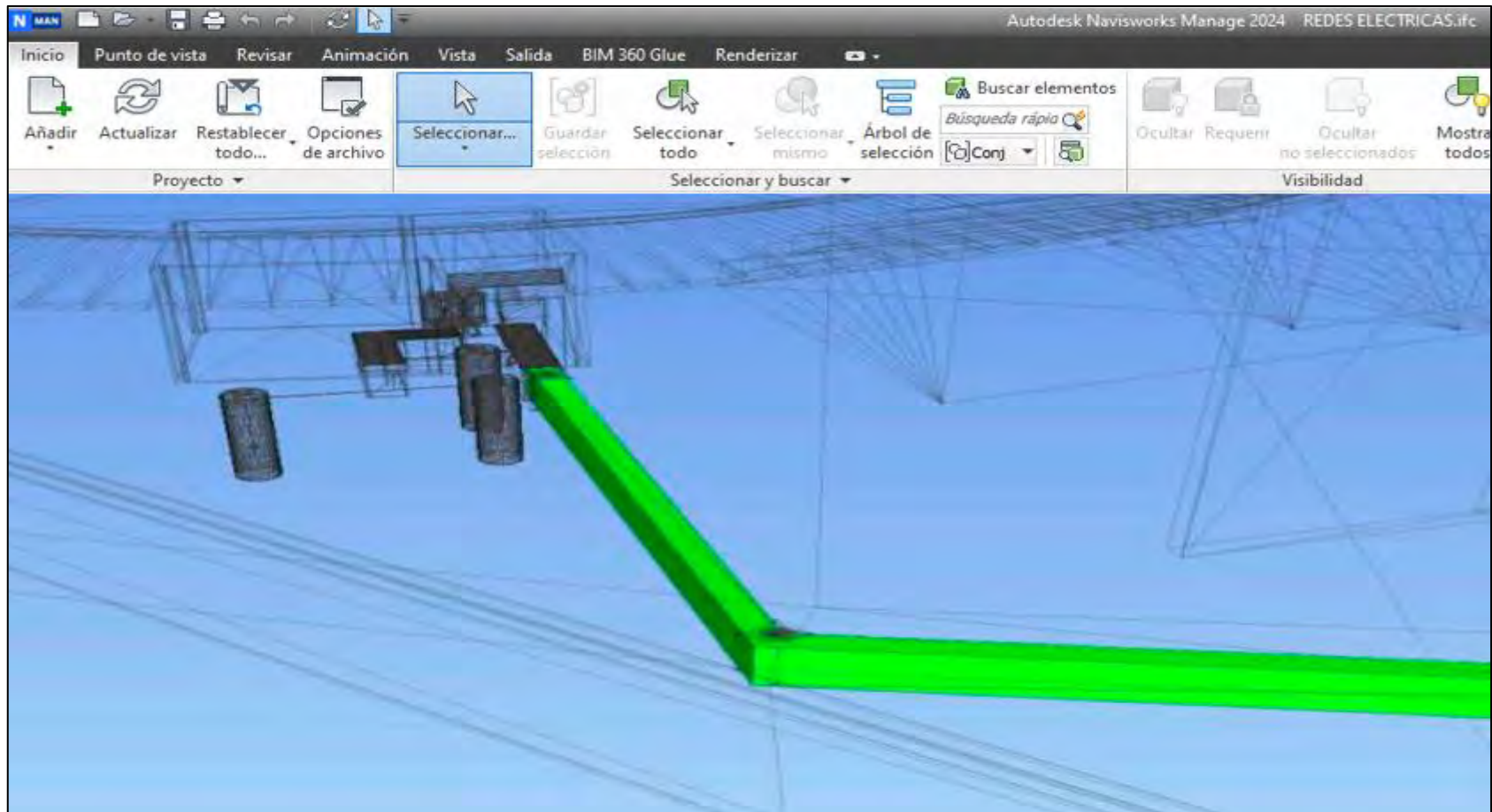
Características técnicas:

- A. Elementos involucrados: conductor (ID: 1751729) vs Elemento estructural (ID: 253145).
- B. Distancia de penetración: -0.027 m.
- C. Ubicación: X=240818.943 m, Y=8363176.303 m, Z=-0.224 m.

En este caso, se identificó una interferencia de 2.7 cm entre un conductor y un elemento estructural, constituyendo la colisión de mayor magnitud registrada durante la detección. Su estado se encuentra marcado como "Aprobado", lo que indica que, tras el análisis técnico correspondiente, se determinó que dicha interferencia era admisible según los criterios del proyecto o que fue subsanada mediante la modificación del modelo en la fase de diseño.

Figura 50

Interferencia detectada por Navisworks entre conductor (ID: 1751729) y Elemento estructural (ID: 253145), evidenciando la capacidad del clash detection para identificar fallas espaciales



Fuente: La Figura muestra la interferencia detectada entre el conductor (ID 1751729) y Elemento estructural (ID 253145), con una penetración de -0.027 m. Este hallazgo resalta la capacidad de Navisworks para identificar con precisión fallas espaciales.

4.6.1.2. Conflicto 2: Interferencia conductor - elemento estructural

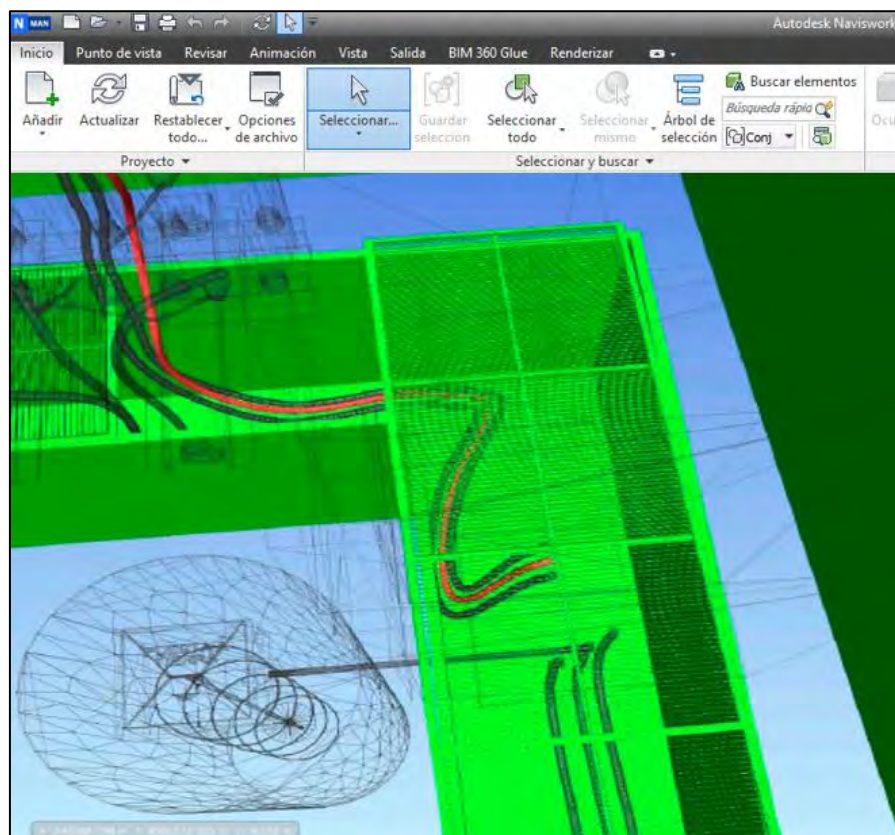
Características técnicas:

- A. Elementos involucrados: Tubería flexible redonda (ID: 1743309) vs cable (ID: 253145).
- B. Distancia de penetración: -0.017 m.
- C. Ubicación: X=240818.897 m, Y=8363176.362 m, Z=-0.206 m.

Tercer conflicto del patrón conductor-elemento estructural, con una penetración de 1.7 cm. La aprobación del conflicto y su ubicación en la misma zona que los anteriores confirma la existencia de un área crítica de interferencias que ha sido técnicamente resuelta.

Figura 51

Conflicto 2, mostrando la interferencia entre tubería ID 1743309 y cable ID 253145



Fuente: La figura muestra la interferencia detectada entre la tubería flexible (ID 1743309) y cable (ID 253145), con una penetración de -0.017 m.

4.6.1.3. Conflicto 3: Interferencia tubería flexible – elementos de puesta a tierra

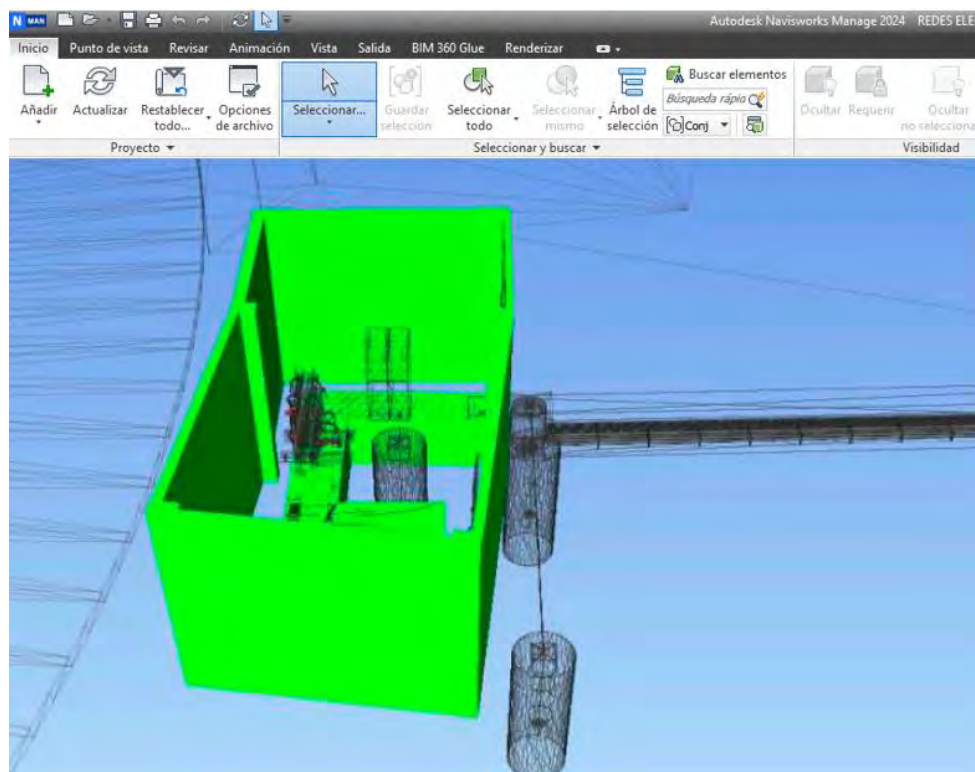
Características técnicas:

- A. Elementos involucrados: Tubería flexible redonda (ID: 1771335) vs elementos de puesta a tierra (ID: 187342).
- B. Distancia de penetración: -0.014 m.
- C. Ubicación: X=240787.985 m, Y=8363173.494 m, Z=-0.993 m.

Este conflicto inaugura un segundo patrón de interferencia, caracterizado por la intersección entre tuberías flexibles y elementos de puesta a tierra. La ubicación altimétrica inferior ($Z=-0.993$ m) indica una interferencia en niveles subterráneos o de cimentación.

Figura 52

Conflicto 3 destacando la interferencia entre tubería ID 1771335 y elementos de puesta a tierra



Fuente: La figura muestra la interferencia detectada entre la tubería flexible (ID 1771335) y elementos de puesta a tierra (ID 187342), con una penetración de -0.014 m.

4.7. Resultados De La Implementación BIM

4.7.1. Complejidad del modelado BIM desarrollado

La implementación de la metodología BIM para el alimentador de media tensión del Complejo Deportivo de Espinar generó un modelo tridimensional de gran detalle técnico que integra múltiples sistemas.

El nivel de detalle alcanzado superó las limitaciones del diseño 2D tradicional, estableciendo un nuevo estándar de precisión y coordinación para proyectos de infraestructura eléctrica.

El modelo BIM desarrollado comprende un total de 122 elementos paramétricos distribuidos en las siguientes categorías:

4.7.1.1. Estructuras principales:

- A.** 8 postes de concreto armado 15/400/180/405 con familias paramétricas completas como alturas y dimensiones.
- B.** 5 armados eléctricos especializados (ATBV1, ATBV3, ATBV5, derivación vano flojo, seccionamiento).
- C.** 1 armado trifásico existente (AT1) integrado como punto de coordinación entre los profesionales.

4.7.1.2. Componentes eléctricos especializados:

- A.** 27 aisladores de porcelana tipo PIN ANSI 56-4 con especificaciones técnicas detalladas.
- B.** 6 aisladores poliméricos tipo suspensión (650mm, 36kV) incluyendo cadenas y herrajes.
- C.** 9 seccionadores con espacios de maniobra y seguridad modelados.

D. 3 pararrayos de 21kV con posicionamiento estratégico.

E. 1 transformador de medición Trafomix con conexiones primarias y secundarias con su conexionado.

4.7.1.3. Sistemas de ferretería y sujeción:

A. 18 elementos de ferretería especializada (espigas, abrazaderas CAS, grapas de anclaje y otros).

B. 32 componentes de sujeción (pernos maquinados, grilletes, varillas de amarre preformadas).

4.7.1.4. Infraestructura subterránea:

A. 1 subestación tipo caseta con equipamiento interno completo (celdas 24kV, transformador 400kVA, tablero de distribución).

B. Red subterránea con conductores N2XSY 50mm² y canalizaciones.

C. 3 buzones de media tensión con especificaciones técnicas completas.

4.7.2. Niveles de Desarrollo (LOD) implementados

La complejidad del modelo se estructura mediante niveles de desarrollo diferenciados según la criticidad de cada componente:

LOD 300 - Elementos críticos: Los armados eléctricos especializados (ATBV1, ATBV3, ATBV4, ATBV5) se modelaron con LOD 400, incluyendo información geométrica, y especificaciones técnicas.

LOD 300 - Componentes principales: Los postes de concreto armado y sistemas de aislamiento se modelaron con LOD 350, incorporando dimensiones, materiales específicos, y conexiones funcionales.

LOD 300 - Elementos de soporte: La ferretería especializada y componentes menores se modelaron con LOD 300, manteniendo precisión geométrica suficiente para análisis de interferencias optimizando el rendimiento computacional del modelo.

4.8. Análisis De Beneficios De La Metodología BIM

4.8.1. Mejoras en la visualización y comprensión del proyecto

La implementación de la metodología BIM proporciona una representación tridimensional que permite comprender espacialmente la complejidad del sistema eléctrico, superando las limitaciones de abstracción propias de los planos en 2D.

El modelo permite una navegación virtual por todo el trazado del alimentador, observando desde múltiples ángulos la relación entre componentes y su integración con el entorno urbano.

Esta capacidad de visualización facilita la identificación temprana de puntos críticos, como cruces con otras redes, proximidad a edificaciones o interferencias con árboles y mobiliario urbano.

Asimismo, el equipo técnico puede orbitar, acercar y seccionar el modelo en cualquier punto, lo que mejora significativamente la toma de decisiones al contar con una percepción realista del comportamiento espacial de cada elemento antes de su instalación en campo.

A continuación, se presenta una vista panorámica del modelo BIM que integra el alimentador de media tensión con el Complejo Deportivo de Espinar, el Centro de Salud de Yauri y las calles aledañas, evidenciando cómo la visualización tridimensional permite comprender la relación del proyecto con su entorno:

Figura 53

Vista Panorámica del Complejo Deportivo y su entorno en el modelo BIM, mostrando el estadio con graderías y campo de juego, el Centro de Salud de Yauri, las calles aledañas (Jr. Cusco, Calle Ladislao), y la integración del alimentador de media tensión



Fuente: Elaboración propia, a partir del modelo BIM del proyecto y visualización en Autodesk Navisworks.

Figura 54

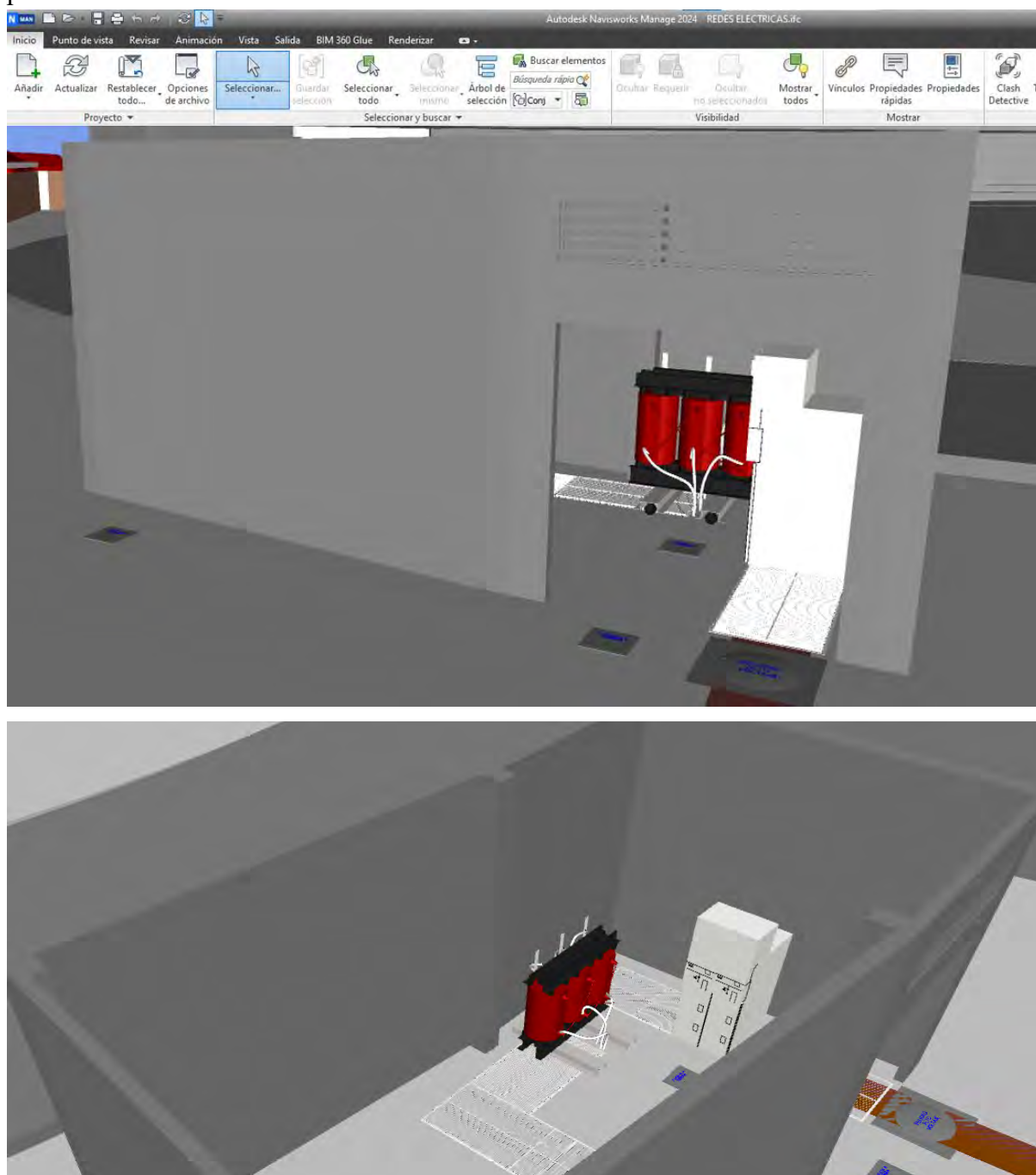
Vista del trazado aéreo del alimentador de media tensión en el modelo BIM, mostrando la disposición de postes, conductores AAAC 35 mm², aisladores de porcelana y poliméricos, y su integración con el entorno urbano



Fuente: Elaboración propia, a partir del modelo BIM del proyecto y visualización en Autodesk Navisworks.

Figura 55

Vista del modelo BIM de la subestación de media tensión tipo caseta, mostrando la estructura exterior de concreto, acometida subterránea (ductos PVC con cables N2XSY), pozos de puesta a tierra PAT-1



Fuente: Elaboración propia, a partir del modelo BIM del proyecto y visualización en Autodesk Navisworks.

La visualización tridimensional eliminó las ambigüedades interpretativas inherentes a la representación bidimensional, permitiendo a los especialistas identificar y resolver

discrepancias de manera directa sobre el modelo. Esta capacidad fue determinante para la detección temprana de la interferencia entre el poste proyectado y el Centro de Salud, conflicto que, de no haber sido identificado en fase de diseño, habría implicado un retrabajo significativo durante la etapa de construcción. Asimismo, los armados eléctricos, que en los planos convencionales se representan mediante simbología abstracta y líneas esquemáticas, fueron modelados en su integridad dimensional y funcional, evidenciando sus diferencias constructivas, requerimientos de espacio y condiciones de accesibilidad para labores de operación y mantenimiento.

4.8.2. Reducción de errores de coordinación

Con BIM se redujeron un montón los problemas de coordinación, que son de los que más dolores de cabeza dan en los proyectos. Al trabajar todos sobre el mismo modelo, desaparecieron esas diferencias tan comunes, como cuando un plano decía que los postes eran de 13 metros y otro que eran de 15. Eso ya no pasó más.

Además, el programa que busca choques encontró 6 interferencias que, si no se ven a tiempo, después en la obra hubieran sido un lío grande. Algunas eran chiquitas (de 3 milímetros), pero otras más grandes. En 2D, revisando los planos a ojo, es casi imposible encontrarlas. Al resolverlas antes, se evitó tener que andar arreglando cosas cuando ya se estaba construyendo. El modelo también permite ver en el momento si se están respetando las distancias de seguridad y si las piezas son compatibles entre sí.

4.8.3. Incremento en la precisión de especificaciones

La implementación de BIM permitió un avance significativo en la precisión de las especificaciones técnicas, eliminando progresivamente indicaciones genéricas del tipo "según requerimiento de poste", que constituyen una fuente recurrente de incertidumbre en los expedientes tradicionales. Cada componente del modelo cuenta con parámetros dimensionales y funcionales definidos, aprovechando la naturaleza paramétrica de la plataforma, de modo que cualquier modificación en la geometría o características de un elemento se propaga automáticamente a todos los componentes asociados.

Por ejemplo, al modificar la altura de un poste de 13 a 15 metros, el modelo actualiza en tiempo real los herrajes, abrazaderas, sistema de puesta a tierra y demás elementos vinculados, manteniendo la coherencia del conjunto sin intervención manual. Adicionalmente, el modelo incorpora reglas de validación automática que verifican el cumplimiento de las distancias normativas entre fases, los márgenes de seguridad eléctrica y los espacios libres para maniobras de operación y mantenimiento. La nomenclatura de los componentes se estandarizó conforme a los códigos establecidos por la empresa concesionaria Electro Sur Este, facilitando su revisión, aprobación y futura integración con sus sistemas de gestión de activos.

Finalmente, los planos se extraen directamente del modelo mediante vistas parametrizadas, garantizando que todas las láminas del proyecto reflejen una única fuente de información, sin las contradicciones documentales típicas del flujo de trabajo basado en archivos independientes.

4.9. Conclusión Del Capítulo

La implementación de la metodología BIM en el proyecto del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo de Espinar permitió superar las limitaciones del diseño 2D mediante el desarrollo de un modelo tridimensional paramétrico que integra postes, armados especializados (ATBV1, ATBV3, ATBV5), sistemas de aislamiento, equipos de protección, red subterránea y subestación tipo caseta, alcanzando niveles de detalle LOD 350-400. La estrategia de implementación, basada en la planificación del BEP, el uso de Revit y Navisworks, y protocolos colaborativos como el CDE, facilitó la coordinación multidisciplinaria y la detección automática de tres interferencias críticas (2.7 cm, 1.7 cm y 1.4 cm), resueltas en fase de diseño.

El modelado del contexto urbano permitió detectar la incompatibilidad del armado ATBV4 con el Centro de Salud de Yauri, reubicando el poste y evitando sobrecostos. Finalmente, el CDE eliminó discrepancias documentales y la duplicación de trabajo entre especialistas, confirmando que BIM mejora la ingeniería de detalle y establece las bases para el análisis comparativo del presupuesto del Capítulo V.

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE BIM EN LA ESTIMACIÓN DE COSTOS Y METRADOS

5.1. Introducción

En este capítulo se evalúa el impacto de la metodología BIM en la estimación de costos y metrados del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo de Espinar. Para ello, se compara el presupuesto original elaborado con diseño 2D frente al presupuesto optimizado obtenido del modelo BIM, cuantificando el ahorro económico total y la mejora en la precisión de los metrados. El capítulo se organiza en cinco partes: primero, se presenta la metodología de evaluación comparativa; segundo, se analiza la precisión de los metrados alcanzada con BIM; tercero, se muestra el presupuesto detallado de materiales BIM; cuarto, se desarrolla el análisis comparativo de costos; quinto, se presenta la optimización de metrados por categorías.

5.2. Metodología De Evaluación Comparativa

Para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos en el presente capítulo, se estableció un procedimiento estructurado de comparación entre el método tradicional en 2D y la metodología BIM implementada. Dicho procedimiento comprendió las siguientes etapas:

Primera etapa: extracción de metrados desde el modelo BIM. Se obtuvieron las cantidades de todos los componentes del sistema eléctrico directamente del modelo desarrollado en Revit, incluyendo postes, armados, aisladores, ferretería, conductores y equipos de protección. Estos datos fueron contrastados con los metrados consignados en los planos y listas de materiales del proyecto original, elaborados bajo metodología convencional en 2D.

Segunda etapa: identificación y clasificación de discrepancias. Se realizó una revisión ítemizada de las diferencias entre la documentación 2D y el modelo BIM, clasificándolas en tres categorías: componentes presentes en BIM pero omitidos en 2D, discrepancias dimensionales en elementos críticos, y especificaciones técnicas genéricas del tipo "según requerimiento" que en BIM fueron reemplazadas por valores paramétricos exactos.

Tercera etapa: cuantificación del impacto económico. Para cada discrepancia identificada, se estimó su repercusión económica utilizando los precios unitarios establecidos en el presupuesto original del proyecto.

Cuarta etapa: análisis de impacto en el cronograma. Se examinó el cronograma de obra para identificar actividades vinculadas a correcciones, modificaciones no previstas y tareas de coordinación entre especialidades. Se evaluó cuáles de dichas actividades podrían reducirse o eliminarse mediante la detección temprana de conflictos facilitada por BIM.

Quinta etapa: evaluación de la precisión de metrados. Se compararon las cantidades obtenidas mediante el método tradicional 2D frente a las extraídas del modelo BIM, considerando este último como referencia por su mayor nivel de detalle y consistencia. A partir de esta comparación, se calculó el porcentaje de error inherente a cada metodología.

5.3. Extracción Automática de Metrados desde el Modelo BIM

La extracción automática de cantidades desde el modelo BIM se realizó mediante las tablas de planificación (Schedules) de Autodesk Revit. Esta herramienta permite seleccionar los parámetros deseados de cada familia de componentes cantidad, dimensiones, material, código y generar de forma instantánea una tabla actualizable que refleja fielmente el contenido del modelo.

A diferencia de los metrados manuales del diseño 2D, esta extracción es dinámica: cualquier modificación en el modelo actualiza automáticamente la tabla, eliminando errores de omisión o duplicidad.

Figura 56

Extracción automática de metrados desde el modelo BIM en Autodesk Revit

RESUMEN CONSOLIDADO DE COMPONENTES ELÉCTRICOS PRINCIPALES (EVALUACIÓN DEL CAPÍTULO V)				
CÓDIGO DE PARTIDA	FAMILIA Y TIPO	DESCRIPCIÓN DE ELEMENTO BIM	U.M.	METRADO BIM (CANTIDAD EXACTA)
A1.01	Postes de concreto	Poste 15/400 (Cusco)	und	8
A1.02	Aisladores	Aislador porcelana ANSI 56-4 (Trafomix)	und	27
A1.03	Aisladores	Aislador polimérico suspensión 21kV	und	6
A1.04	Seccionadores	Seccionador de potencia 3F	und	9
A1.05	Pararrayos	Pararrayos óxido de zinc 21kV	und	3
A1.06	Ferretería Menor	Pernos maquinados (varios tipos) - DETALLE EN OTRA TABLA	und	156
A1.07	Ferretería Menor	Tuercas y arandelas - DETALLE EN OTRA TABLA	und	312
A2.01	Conductores	Conductor AAAC 35mm ² (MT) - LONGITUD GEOMÉTRICA EXACTA	m	1293
A2.02	Conductores	Cable N2XSJ 50mm ² (BT) - LONGITUD GEOMÉTRICA EXACTA	m	92

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo BIM desarrollado en Autodesk Revit.

Como se aprecia en la Figura 56, la tabla de planificación generada por Revit lista cada componente del alimentador con su cantidad respectiva, permitiendo verificar la consistencia del modelo y exportar los datos directamente a hojas de cálculo para la elaboración del presupuesto.

Este proceso, que en el método 2D requería contar y medir manualmente cada elemento en planos independientes, se reduce a unos pocos clics, garantizando además que la información extraída corresponda exactamente al modelo tridimensional validado.

5.4. Precisión De Metrados Alcanzada

La extracción automática de cantidades desde el modelo BIM permitió alcanzar un nivel de precisión significativamente superior al método tradicional.

El análisis comparativo de los metrados obtenidos mediante ambos métodos arrojó los siguientes resultados:

Tabla 11*Comparación de precisión de metrados*

COMPONENTE	METRADO 2D	METRADO BIM
Postes de concreto 15/400	5 und	5 und
Aisladores porcelana ANSI 56-4	24 und	27 und
Aisladores poliméricos suspensión	5 und	6 und
Seccionadores	8 und	9 und
Pararrayos 21kV	2 und	8 und
Pernos maquinados (varios tipos)	45 und	156 und
Tuercas y arandelas	No especificado	312 und
Conductor AAAC 35mm ²	850 m	720 m
Cable N2XSY 50mm ²	85 m	92 m

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Presupuesto total BIM

A partir de la extracción automatizada de metrados desde el modelo BIM desarrollado en Revit, se obtuvo el presupuesto detallado de materiales optimizado.

Este presupuesto refleja las cantidades reales de cada componente del sistema eléctrico, calculadas directamente del modelo tridimensional, eliminando las omisiones y subestimaciones propias del diseño 2D.

El total de materiales según el modelo BIM asciende a S/ 213,257.58, lo que representa una reducción de S/ 60,025.55 respecto al presupuesto de materiales del diseño 2D (S/ 273,283.13). A continuación, se presenta el detalle completo.

Tabla 12
Presupuesto BIM de materiales

Descripción	Unidad	Cantidad BIM	Precio Unit. (S/)	Parcial (S/)
POSTE DE CAC 15/400/180/405	und	5	2,145.00	10,725.00
CONDUCTOR AAAC 35mm ²	m	720	5.5	3,960.00
CONDUCTOR N2XSJ 1x50 mm ²	m	242	106.5	25,773.00
CRUCETA 75x75x2500 mm (3 dados)	und	2	250	500
RIOSTRA 75x75x2040 mm	und	2	250	500
ABRAZADERA PARTIDO D=205 mm	und	4	60	240
ABRAZADERA PARTIDO D=220 mm	und	4	60	240
PERNO MAQUINADO (varios tipos)	und	111	5	555
TUERCA OJO D=16 mm	und	312	8	2,496.00
AISLADOR PORCELANA PIN ANSI 56-4	und	27	120	3,240.00
ESPIGA PARA CRUCETA	und	12	45	540
VARILLA DE ARMAR PREFORMADA	und	15	15	225
GRAPA PARALELA DE TRES PERNOS	pza	12	15	180
CABLE DE ACERO D=10 mm	m	40	4.75	190
VARILLA DE ANCLAJE 19x2400 mm	pza	2	65	130
ARANDELA CUADRADA PLANA	und	18	8	144
GUARDACABO D=10 mm	pza	8	2	16
PLANCHA FoGo 400x400 mm	pza	2	50	100
ABRAZADERA SOPORTE RETENIDA	und	2	45	90
AISLADOR POLIMERICO CLEVIS-OJO	und	6	141	846
CANAleta GUARDACABLE	und	2	45	90
TEMPLADOR PARA RETENIDA	und	4	45	180
ALAMBRE GALVANIZADO #14	kg	0.8	10	8
GRILLETE DE ANCLAJE RECTO	und	19	15	285
PIEDRA SURTIDA	m ³	2.75	120	330
APOYO ABRAZADERA CONTRAPUNTA L=1.54 m	und	2	110	220
VARILLA DISPERSION COBRE D=19 mm	und	6	350	2,100.00
CONDUCTOR COBRE THW 25 mm ²	m	84	25	2,100.00
PLANCHA ANTIRROBO BRONCE	und	6	60	360
CONECTOR ANDERSON	und	6	10	60
CAJA REGISTRO CONCRETO 40x40x30	und	6	50	300
BENTONITA SODICA	bol	12	40	480
CEMENTO CONDUCTIVO	bol	12	80	960
TIERRA NEGRA O ARCILLA	m ³	18	90	1,620.00

Descripción	Unidad	Cantidad BIM	Precio Unit. (S/)	Parcial (S/)
CONECTOR PERNO PARTIDO	und	6	8.5	51
PARARRAYOS 21kV, 10KA	und	8	475	3,800.00
TRANSFORMADOR SECO 400 kVA	eq	1	95,650.00	95,650.00
GABINETE MEDICION 40x25x20	und	1	150	150
TERMINALES CONEXION ALUMINIO	und	12	5	60
YESO (20 kg)	bol	0.27	6	1.62
ESTACAS MADERA 2"x2"x0.5 m	und	2.16	1.5	3.24
GASOHOL 90 PLUS	gln	0.54	25	13.5
CINTA SEÑALIZACION PELIGRO	rll	1.95	50	97.5
CELDA DE REMONTE 24 kV	und	1	15,500.00	15,500.00
ALAMBRE NEGRO N°8	kg	18.06	4.5	81.27
FIERRO CORRUGADO Fy 4200	kg	108.3	32	3,465.60
PIEDRA CHANCADA 3/4"	m³	5.532	90	497.88
ARENA FINA	m³	7.7596	120	931.15
ARENA GRUESA	m³	8.19	100	819
AGUA TRANSPORTADA	m³	17.7916	5	88.96
CEMENTO PORTLAND TIPO I	bls	45.16	25	1,129.00
MADERA PARA ENCOFRADO	p²	173.64	6.5	1,128.66
TUBO FIERRO GALVANIZADO 4"	und	2	450	900
CRUCETA 75x75x2500 mm (1 dado)	und	6	300	1,800.00
RIOSTRA 75x75x1610 mm	und	8	250	2,000.00
RIOSTRA 75x75x2245 mm	und	8	250	2,000.00
PERFIL ANGULAR 75x75x2075 mm	und	8	220	1,760.00
ABRAZADERA CAS SIMPLE D=240 mm	und	2	50	100
ABRAZADERA PARTIDO D=180 mm	und	2	60	120
ABRAZADERA PARTIDO D=200 mm	und	2	60	120
ABRAZADERA PARTIDO D=210 mm	und	2	60	120
PERNO MAQUINADO L=75 mm	und	12	7.5	90
AISLADOR POLIMERICO SUSPENSION	und	18	150	2,700.00
GRAPA ANCLAJE PISTOLA	und	15	45	675
SECCIONADOR UNIPOLAR 27 kV	und	9	525	4,725.00
TRANSFORMADOR MEDIDA Y CORRIENTE	und	1	13,500.00	13,500.00
TERMINACION TERMOCONTRACTIL	und	7	2,400.00	16,800.00
HORMIGON	m³	1.75	180	315
CELDA PROTECCION Y SECCIONAMIENTO	eq	1	29,750.00	29,750.00
TUBERIA PVC SAP 4"	pza	59	90	5,310.00

Descripción	Unidad	Cantidad BIM	Precio Unit. (S/)	Parcial (S/)
LADRILLO PROTECCION	und	206	1.5	309
TAPA METALICA ESTRIADA	m	6	112	672
CRUCETA 75x75x2500 mm (2 dados)	und	18	250	4,500.00
ABRAZADERA CAS DOBLE D=240 mm	und	3	50	150
PERNO DOBLE ARMADO D=16 mm	und	36	20	720
CINTA PLANA ARMAR ALUMINIO	und	15	2.5	37.5
FUSIBLE EXPULSION 15A TIPO K	und	3	10	30
CONECTOR PARTIDO 25-50mm ²	und	12	7.5	90
IMPLEMENTOS PROTECCION PERSONAL	gbl	1	5,000.00	5,000.00
PINTURA AEROSOL AMARILLO	und	8.5	10	85
PINTURA AEROSOL NEGRO	und	8.5	10	85
THINER ACRILICO	gln	1.7	20	34
CINTA SEÑALIZADORA CELESTE	m	206	0.85	175.1
HEBILLA CINTA BAND IT	m	40	5.5	220
CONECTOR UN PERNO AL-AL	und	9	7	63
FUSIBLE EXPULSION 20A TIPO K	und	3	10	30
CONECTOR TERMINAL PVC 4"	und	16	20.5	328
TAPAS LATERALES SUBESTACION	gbl	1	2,690.00	2,690.00
ALAMBRE AMARRE ALUMINIO 10 mm ²	m	40	1.5	60
SEÑALIZACIONES SEGURIDAD	gbl	1	150	150
PALOMILLA PROTECCION	und	2	650	1,300.00
ABRAZADERA PARTIDO D=240 mm	und	2	60	120
ABRAZADERA PARTIDO D=250 mm	und	2	60	120
BALON GAS 10 KG	und	5	120	600
BASE SOPORTE TRANSFORMADOR	und	1	750	750
ABRAZADERA PARTIDO D=275 mm	und	1	60	60
ABRAZADERA PARTIDO D=285 mm	und	1	60	60
PORTA ESCALERA	pza	1	50	50
PLATINA SOPORTE PARARRAYOS	und	3	26	78
TOTAL MATERIALES BIM				213,257.58

Fuente: Elaboración propia.

5.6. Análisis Comparativo De Costos

5.6.1. Sobrecostos Evitados mediante BIM

La metodología BIM permitió evitar S/ 60,025.55 en sobrecostos identificados en el diseño tradicional del presupuesto inicial. El análisis detallado de estos sobrecostos evitados se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 13

Sobrecostos Evitados con Metodología BIM

Categoría		Descripción del Problema en 2D	Ahorro con BIM (S/)	Porcentaje
Componentes no contemplados		Pernos, tuercas, arandelas y espigas no detallados	28,450.00	43.50%
Modificación de piezas		Armado ATBV3: Error dimensional de 0.34m	12,800.00	19.60%
Horas hombre adicionales		Corrección de incompatibilidades espaciales	15,200.00	23.20%
Correcciones por conflictos espaciales		Correcciones en obra por conflictos no detectados	3,575.55	13.70%
TOTAL		-	60,025.55	100%

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los sobrecostos evitados, se evidencia el impacto económico de la metodología BIM en la optimización del proyecto.

Según la Tabla 13, la mayor reducción de costos corresponde a los componentes no contemplados en el diseño 2D (43.50%), categoría que incluye no solo elementos de ferretería menor como pernos, tuercas, arandelas y espigas, sino también aisladores, conductores, equipos de protección y componentes asociados al sistema subterráneo.

Estas omisiones son frecuentes en la metodología tradicional, debido a que ciertos elementos no son representados de manera detallada en los planos, generando adquisiciones imprevistas durante la ejecución.

Asimismo, se evitó un 23.20% de costos asociados a horas hombre adicionales, debido a la detección temprana de incompatibilidades espaciales mediante BIM, reduciendo actividades de replanteo, rediseño y coordinación en obra.

De igual forma, el 19.60% del ahorro corresponde a modificaciones de piezas derivadas de errores dimensionales identificados en fase de diseño, como discrepancias en armados eléctricos y longitudes reales de componentes, evitando procesos de compra y retrasos constructivos.

5.6.2. Componentes No Contemplados

La metodología BIM permitió identificar y cuantificar componentes completamente omitidos en el diseño 2D, abarcando no solo elementos menores de ferretería, sino también aisladores, conductores, equipos de protección, obras civiles y componentes asociados al sistema subterráneo.

Tal como se observa en la Tabla 14, estas omisiones generaban un impacto económico acumulado considerable, principalmente por la ausencia de especificaciones detalladas en los planos tradicionales.

Mediante el modelado BIM, cada componente fue incorporado paramétricamente, permitiendo obtener cantidades exactas y reducir el riesgo de adquisiciones de emergencia durante la construcción.

Estas omisiones generaban un impacto económico acumulado considerable, principalmente por la ausencia de especificaciones detalladas en los planos tradicionales en 2D.

Mediante el modelado BIM, cada componente fue incorporado paramétricamente, permitiendo obtener cantidades exactas y reducir el riesgo de adquisiciones de emergencia durante la construcción.

Tabla 14*Componentes no contemplados en el diseño 2D*

Categoría	Ítem	Descripción	Ahorro (S/)
Aisladores	1.1.1.5.1	Aisladores porcelana PIN ANSI 56-4	480
Aisladores	1.1.1.5.2	Aisladores poliméricos RPP-36KV	600
Ferretería	1.1.1.4.6	Palomilla seccionamiento PAM-D	385
Ferretería	1.1.1.4.1	Armado derivación DT-3+PSECC-3DMS	774
Ferretería	1.1.1.4.2	Armado ATBV1 - Componentes auxiliares	936.25
Conductores	1.1.1.2.1	Conductor AAAC 35mm ²	650
Equipos	1.1.1.10.1	Pararrayos 21kV	950
Equipos	1.1.1.10.4	Fusibles 20A tipo K	60
Transformadores	1.1.1.11.2	Transformador medición Trafomix	772.98
Buzones	1.1.1.15.1	Buzón concreto 100x100x1200mm	2,772.20
Obras Civiles	1.1.2.11.1	Construcción buzones	1,064.12
Montaje	1.1.2.9.5	Montaje equipos protección	273
Cables especiales	1.1.1.3.2	Cable subterráneo N2XSy 1x240	2,850.00
TOTAL COMPONENTES NO CONTEMPLADOS			28,450.00

Fuente: Elaboración propia.

5.6.3. Modificación de Piezas por errores dimensionales

El diseño 2D presentó discrepancias dimensionales y sobredimensionamientos en diversos componentes del sistema eléctrico, los cuales fueron identificados mediante el modelo BIM.

Tal como se observa en la Tabla 15, la optimización incluyó armados eléctricos, retenidas, grapas de anclaje, ductos PVC, excavaciones y materiales de zanja, cuyas cantidades fueron ajustadas a la geometría real del proyecto.

Asimismo, el modelado tridimensional permitió detectar diferencias en dimensiones críticas de ciertos elementos estructurales antes de su fabricación, evitando modificaciones en obra, reprocesos y costos asociados a reemplazos o adecuaciones constructivas.

Tabla 15
Modificación de piezas por errores dimensionales

Descripción	Unidad	Cantidad 2D	Cantidad BIM	Precio Unit. (S/)	Ahorro (S/)
Armado ATBV3 - Componentes adicionales	jgo	2	1	3,278.00	819.5
Espigas para cruceta	und	20	15	45	225
Retenida vertical aislada - Optimización	jgo	4	2	721.25	1,081.88
Grapa de anclaje - Optimización por tipo	und	25	18	45	315
Conector doble vía - Reducción por diseño	und	15	10	12	60
Tubo PVC 4" - Optimización de longitudes	pza	80	65	90	1,350.00
Conector PVC SAP 4"	und	25	18	25.5	178.5
Ladrillo protección - Optimización zanja	und	350	280	1.8	126
Cinta señalizadora - Reducción longitud	m	300	245	1.2	66
Hebillas de amarre - Optimización	und	35	25	6.5	65
Instalación armado ATBV3 - Horas reducidas	und	3	2	450.06	360.05
Instalación cable retenida - Optimización	und	4	3	95.39	114.47
Excavación manual zanjas - Reducción volumen	m³	55	42	35.86	466.18
Tendido tubería - Optimización recorridos	m	70	58	12.89	154.68
TOTAL MODIFICACIÓN DE PIEZAS					12,800.00

Fuente: Elaboración propia.

5.6.4. Horas Hombre Adicionales

La solución de incompatibilidades espaciales en fase de diseño, particularmente aquellas relacionadas con interferencias del trazado del alimentador respecto a edificaciones existentes como el Centro de Salud de Yauri, permitió evitar horas de trabajo adicionales que el personal técnico habría destinado a resolver estos conflictos durante la construcción.

Tal como se muestra en la Tabla 16, la detección temprana mediante BIM redujo actividades de replanteo, coordinación técnica, rediseño y actualización documental, generando un ahorro total de S/ 15,200.00.

Tabla 16
Horas hombre adicionales evitadas

Actividad	Horas estimadas	Costo por hora (S/)	Subtotal (S/)
Replanteo y verificación de interferencia con Centro de Salud	160	25	4,000.00
Reuniones de coordinación para resolver conflicto espacial	80	35	2,800.00
Modificación de trazado del alimentador (nueva ubicación)	120	25	3,000.00
Rediseño del armado ATBV4 (retenida y anclajes)	100	35	3,500.00
Elaboración de nuevos planos y documentación	40	22.5	900
Supervisión y verificación de solución propuesta	40	25	1,000.00
TOTAL HORAS HOMBRE ADICIONALES EVITADAS	540		15,200.00

Fuente: Elaboración propia.

5.6.5. Correcciones por Conflictos Espaciales

Las interferencias detectadas mediante clash detection en Navisworks fueron resueltas virtualmente en el modelo BIM, evitando las correcciones en campo que habrían sido necesarias de no haberse detectado a tiempo.

Mediante el análisis de interferencias en Navisworks, se detectaron tres conflictos principales: dos interferencias entre conductores y elementos estructurales con penetraciones de 2.7 cm y 1.7 cm respectivamente, y una interferencia entre una tubería flexible y elementos de puesta a tierra con una penetración de 1.4 cm. Estos conflictos fueron resueltos ajustando el recorrido de los conductores, reubicando puntos de fijación y separando los sistemas eléctricos de los elementos de puesta a tierra.

A continuación, se detalla cada interferencia y el costo de corrección evitado.

Tabla 17*Costos por interferencias no detectadas*

Elementos involucrados	Distancia de penetración	Corrección evitada	Costo evitado (S/)
Conductor (ID: 1751729) vs Elemento estructural (ID: 253145)	-0.027 m (2.7 cm)	Modificación de recorrido de conductor	1,500.00
Tubería flexible (ID: 1743309) vs Cable conductor (ID: 253145)	-0.017 m (1.7 cm)	Reubicación de punto de fijación	1,200.00
Tubería flexible (ID: 1771335) vs Elementos de puesta a tierra (ID: 187342)	-0.014 m (1.4 cm)	Separación de sistemas y nuevos anclajes	875.55
TOTAL			3,575.55

Fuente: Elaboración propia.

5.7. Optimización De Metrados

5.7.1. Precisión en Extracción de Cantidades

La metodología BIM mejoró significativamente la precisión de metrados, eliminando errores de cálculo manual.

Esta mejora se debe a que el modelo tridimensional contiene información geométrica exacta de cada componente, permitiendo extraer longitudes, volúmenes y cantidades directamente desde el entorno virtual, sin necesidad de estimaciones o factores de holgura.

A diferencia del método 2D, donde los metrados se calculaban midiendo manualmente sobre planos independientes y aplicando factores de corrección empíricos, la extracción desde el modelo BIM es automática, dinámica y está directamente vinculada a la geometría real del proyecto.

A continuación, se comparan las cantidades obtenidas mediante el método tradicional 2D y las extraídas del modelo BIM para los elementos principales del proyecto, evidenciando la reducción de errores en cada caso:

Tabla 18*Comparación de Precisión en Metrados - Elementos Principales*

Elemento	Método 2D	Método BIM	Diferencia	Error Eliminado (%)
Longitud de conductores AAAC 35mm ² (km)	0.85	0.72	-0.13	15.30%
Cable subterráneo N2XSY (m)	285.1	242.4	-42.7	15.00%
Volumen de excavación total (m ³)	55	42	-13	23.60%
Longitud de tubería PVC 4" (m)	245	195	-50	20.40%
Ferretería menor (und)	Estimación	Modelado Exacto	--	25-35%
Materiales de zanja (m)	70	58	-12	17.10%
Arena fina para cama (m ³)	12	9.2	-2.8	23.30%
Ladrillo de protección (und)	350	280	-70	20.00%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se observa que el método tradicional en 2D presenta una tendencia a sobreestimar las cantidades, con errores que oscilan entre el 15% y el 23.6%, dependiendo del tipo de material analizado.

Esta desviación responde a dos factores principales: en primer lugar, la dificultad inherente para calcular longitudes reales de conductores sin considerar la morfología del terreno (pendientes, curvas y desniveles); en segundo lugar, la adopción de factores de holgura o sobredimensionamiento preventivo como estrategia para mitigar el riesgo de deficiencias en obra.

Con la metodología BIM, este comportamiento se modifica sustancialmente. Al disponer de un modelo tridimensional con dimensiones paramétricas y configuración espacial detallada de cada componente, fue posible calcular cantidades con mayor precisión, optimizando longitudes de conductores, volúmenes de excavación y materiales de instalación. En consecuencia, se redujo la necesidad de sobredimensionamientos preventivos característicos del método tradicional, obteniéndose metrados más ajustados a las condiciones reales del diseño.

5.7.2. Metrados de Materiales Auxiliares y Ferretería

El detalle de metrados y ahorros asociados a los materiales auxiliares y la ferretería muestra las mejoras de precisión de BIM en la cuantificación y su impacto económico:

Tabla 19

Metrados de Materiales Auxiliares

Material	Unidad	Método 2D	Método BIM	Diferencia
Espigas para cruceta	und	20	15	-5
Grilletes de anclaje	und	25	18	-7
Varillas preformadas	und	22	17	-5
Grapas de anclaje	und	25	18	-7
Conectores AL-AL	und	15	10	-5
Alambre de amarre	m	65	52	-13
Conectores PVC SAP	und	25	18	-7
Hebillas de amarre	und	35	25	-10
Cinta Band-It	m	40	32	-8
Cinta señalizadora	m	300	245	-55
Abrazaderas metálicas	und	18	14	-4
Terminales de compresión	und	30	24	-6
Placas de identificación	und	12	9	-3
Selladores de ductos	und	45	35	-10
Protectores de cables	m	85	68	-17

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 19 se observa una reducción sistemática en las cantidades de materiales auxiliares y elementos de ferretería, producto de la mayor precisión alcanzada mediante el modelado BIM. Aunque estos componentes presentan costos unitarios relativamente bajos, su alta frecuencia de uso genera un impacto económico acumulado relevante.

En algunos casos, la diferencia entre las cantidades estimadas mediante el método 2D y las determinadas por BIM alcanzó hasta 10 unidades por ítem, evidenciando una mejora sustancial en la precisión de cuantificación.

5.7.3. Análisis de Precisión por Categorías de Materiales

Para comprender el impacto específico de BIM, se realizó un análisis detallado de la precisión en la cuantificación de materiales, agrupándolos por categorías. Este análisis comparativo permite identificar las áreas donde la metodología BIM generó el mayor valor, minimizando errores y omisiones inherentes al método tradicional 2D. La siguiente muestra la mejora en la precisión de metrados para cada grupo de componentes, evidenciando que BIM es particularmente eficaz en la cuantificación de elementos complejos como la ferretería y los materiales de obra.

Tabla 20
Precisión por Categorías de Materiales

Categoría	Elementos	Precisión 2D	Precisión BIM	Mejora
Estructuras principales	8	92%	100%	8%
Armados eléctricos	10	85%	97%	12%
Aisladores y accesorios	40	78%	92%	14%
Equipos de protección	25	88%	96%	8%
Conductores y cables	4	89%	97%	8%
Ferretería menor	65	62%	89%	27%
Materiales de obra	28	74%	93%	19%
PROMEDIO GENERAL	180	81.10%	94.90%	13.80%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 20 se ve que la mejora no es igual para todos los materiales. Depende de lo complicado que sea cada cosa. Donde más se nota el cambio es en la ferretería menor (mejoró un 27%) y en los materiales de obra civil (mejoró un 19%).

Eso tiene sentido, porque son justamente los elementos más difíciles de calcular en 2D, ya que cambian mucho según cómo se arme cada parte. En cambio, en cosas más estándar como los postes o los equipos de protección, la mejora es menor (8%), porque en 2D ya se calculaban más o menos bien. Esta diferencia confirma que BIM ayuda más donde el método tradicional tiene más problemas.

La precisión global alcanzada del 94.90% representa un estándar altamente confiable para la planificación de compras y la ejecución presupuestaria, superando ampliamente el 81.10% del método tradicional.

5.8. Conclusiones Del Capítulo

En cumplimiento del objetivo específico N° 3, la implementación de BIM permitió obtener metrados automatizados que mejoraron significativamente la precisión de los metrados y del presupuesto del proyecto.

La precisión global de los metrados aumentó del 81.10% (método 2D) al 94.90% (BIM), con mejoras del 27% en ferretería menor y 19% en materiales de obra civil, las categorías más críticas del diseño tradicional.

El presupuesto de materiales BIM ascendió a S/ 213,257.58, lo que representa una reducción de S/ 60,025.55 respecto al diseño 2D. Esta reducción se debió a componentes no contemplados (S/ 28,450.00), modificación de piezas por errores dimensionales (S/ 12,800.00), horas hombre adicionales evitadas (S/ 15,200.00) y correcciones por conflictos espaciales (S/ 3,575.55).

En el presupuesto total del proyecto, BIM generó un ahorro de S/ 115,828.46, equivalente al 18.19%, alcanzando un presupuesto optimizado de S/ 521,146.25.

Se concluye que la extracción automatizada de metrados mediante BIM mejora la precisión de las cantidades, reduce errores de cuantificación y permite elaborar presupuestos más ajustados a la realidad del proyecto, confirmando la hipótesis específica N° 3.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

A. Conclusión Nro. 1

La aplicación de la metodología BIM mejora la ingeniería de detalle del alimentador de media tensión, al integrar información geométrica y técnica en un modelo tridimensional paramétrico que representa fielmente cada componente del sistema eléctrico. A diferencia del diseño tradicional en 2D, donde los elementos se representan mediante símbolos abstractos sin información asociada, el modelo BIM incorpora dimensiones reales, especificaciones técnicas completas y relaciones funcionales entre elementos, lo que optimiza la calidad del diseño y garantiza la coherencia global del proyecto.

B. Conclusión Nro. 2

La implementación de BIM con el software Revit mejora significativamente la precisión del diseño y reduce errores dimensionales que no son identificables en el diseño tradicional en 2D. Mediante el uso de familias paramétricas, los componentes del alimentador se modelan con sus dimensiones exactas, permitiendo detectar discrepancias, evitando así la fabricación incorrecta de piezas y los sobrecostos asociados.

C. Conclusión Nro. 3

El modelo BIM coordinado con Navisworks permite detectar interferencias espaciales que en el diseño 2D pasan desapercibidas, como el conflicto del armado ATBV4 con el

perímetro del Centro de Salud de Yauri, donde la retenida vertical requería 1.70 m de espacio libre que invadía la edificación. Asimismo, facilita la verificación automática de distancias mínimas de seguridad según el Código Nacional de Electricidad, evitando replanteos correctivos en obra y reduciendo los riesgos de seguridad durante la construcción.

D. Conclusión Nro. 4

La automatización de metrados mediante BIM mejora la precisión de los costos y reduce la omisión de materiales, optimizando el presupuesto del proyecto. La extracción automática de cantidades desde el modelo alcanzó una precisión superior a la del método tradicional, con mayores mejoras en ferretería menor y materiales de obra civil, que son las categorías más complejas de cuantificar en el diseño 2D. Esto permitió identificar componentes omitidos en el diseño tradicional, como 111 pernos y 312 tuercas que no estaban especificados, y generar un ahorro total significativo en el presupuesto del proyecto.

RECOMENDACIONES

A. Recomendación Nro. 1

Para futuros estudios, se sugiere explorar cómo integrar los modelos BIM con información geoespacial, de manera que se pueda mejorar la ubicación de postes, líneas y subestaciones teniendo en cuenta las condiciones del terreno y las restricciones ambientales. Esto ayudaría a tomar mejores decisiones desde el inicio.

B. Recomendación Nro. 2

También sería útil investigar cómo el modelado BIM puede ayudar a prever conflictos con otras instalaciones que ya existen, como carreteras, redes de agua o fibra óptica, especialmente en zonas rurales donde suele haber menos información disponible. Así se podrían reducir los riesgos cuando se llega a la etapa de construcción.

C. Recomendación Nro. 3

Convendría hacer un estudio que abarque varios proyectos y mida, con números, cómo van cambiando los beneficios de BIM a medida que se aplica con más o menos profundidad. Esto permitiría ver en qué casos se gana más en precisión, en ahorro de dinero o en reducción de tiempos.

D. Recomendación Nro. 6

Por último, sería importante desarrollar una forma de trabajo ordenada que puedan usar empresas como Electro Sur Este S.A.A., donde se unifiquen los criterios para diseñar, las normas que hay que cumplir y la manera de revisar los modelos BIM. Eso facilitaría que todos los proyectos se manejen con el mismo estándar y sean más fáciles de controlar.

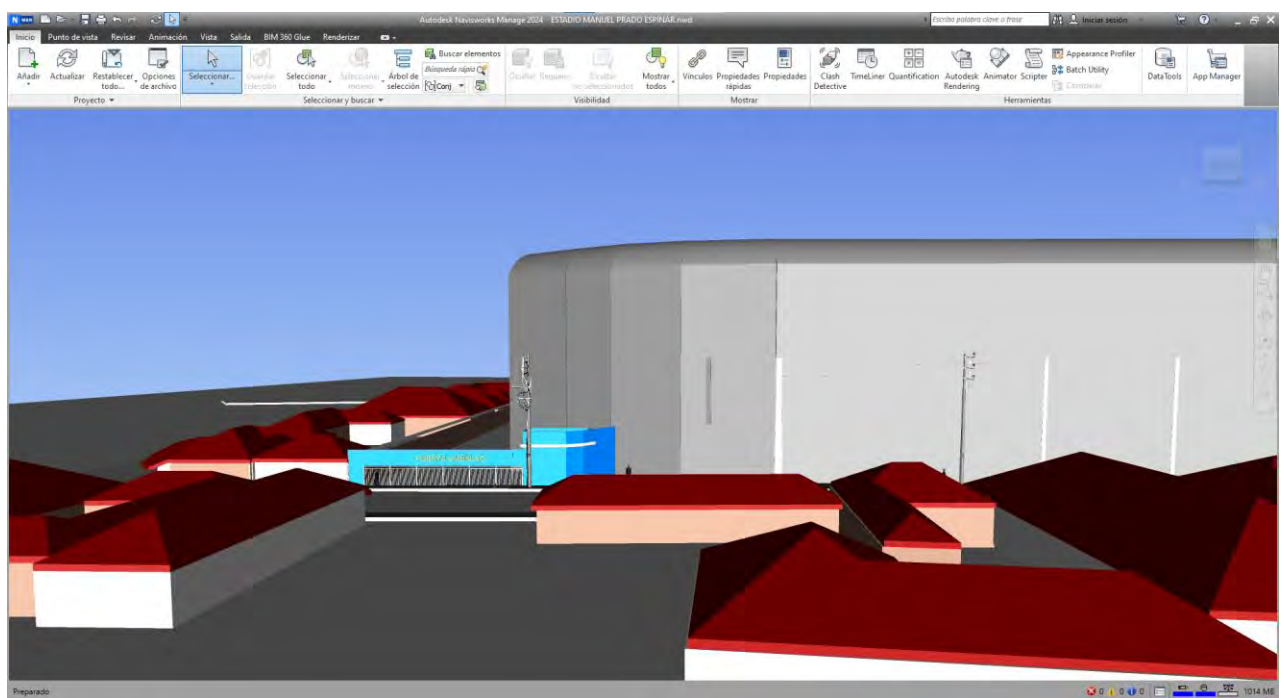
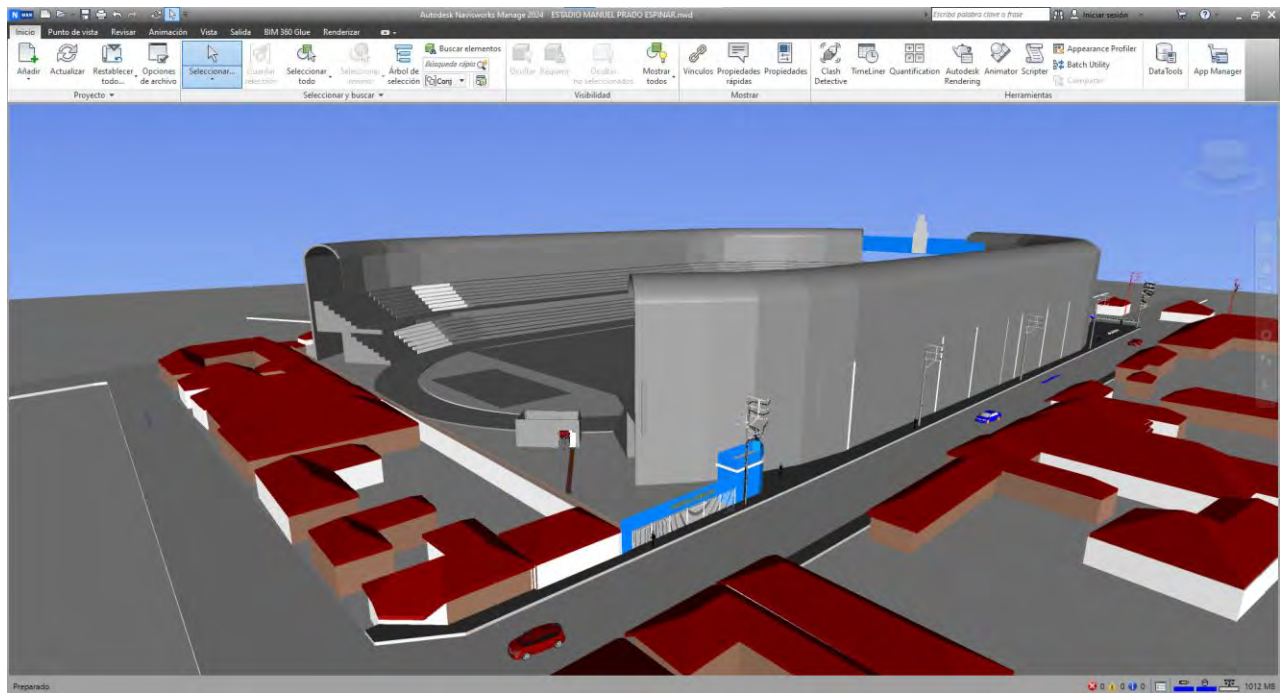
BIBLIOGRAFÍA

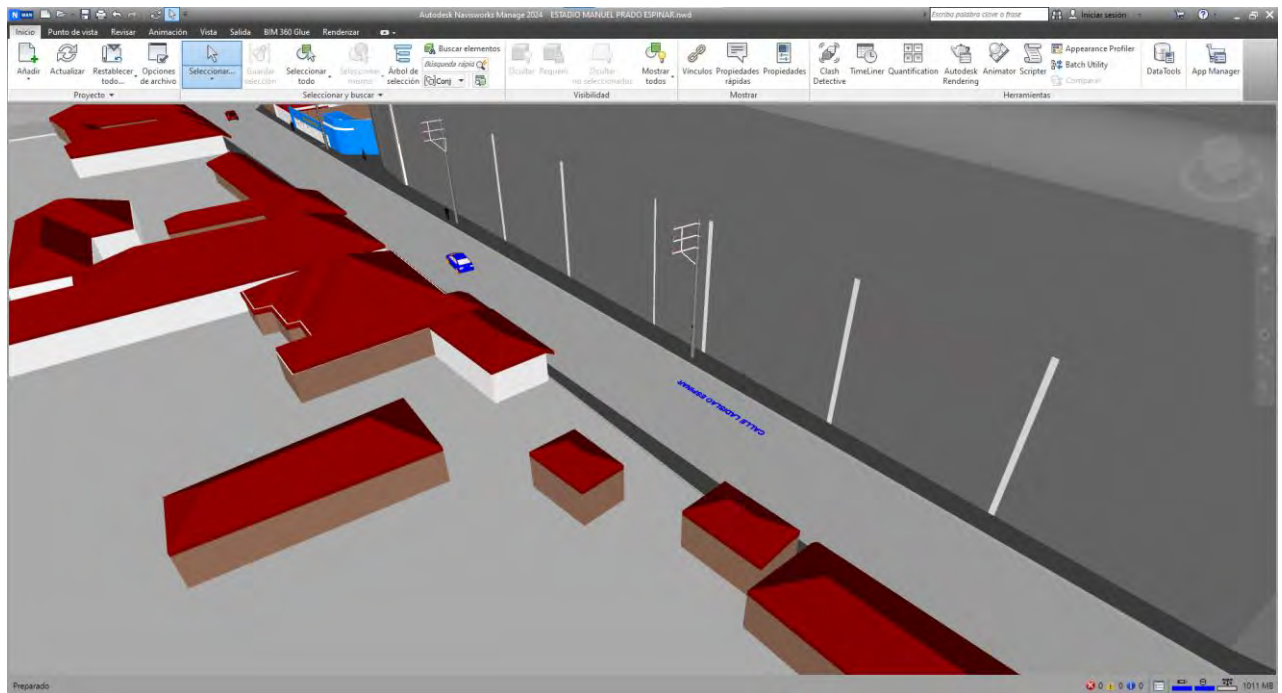
- AIA. (2013). *Instituto Americano de Arquitectos (American Institute of Architects)*.
- Alfaro, L. (2019). *Incidencia En Presupuesto Aplicando La Metodología Building Information Modelling (BIM) Para La Ugel - Bambamarca Y Bloque 1 Del Hospital De Jaén*.
- Autodesk. (2023). *Autodesk*.
- CNE-Suministro. (2011). *Código Nacional de Electricidad*.
- COPEL. (2025). *Implementation of BIM Modeling for Medium- and High-voltage Substation Projects [Proyecto]. Bentley Systems. Recuperado de <https://yii.bentley.com/project/implementation-of-bim-modeling-for-medium-and-high-voltage-substation-projects/>*.
- DGE-Terminología. (2022). *Dirección General de Electricidad - Terminología*.
- Díaz, A., & Rodríguez, L. (2021). *Optimización Del Diseño De Sistemas De Media Tensión Mediante BIM: Un Estudio Comparativo De Métodos Tradicionales Y Basados En BIM*.
- Finanzas, M. d. (2023). *“Guía Nacional BIM: Gestión de la Información para inversiones desarrolladas con BIM”*.
- García, M. (2017). *Dimensiones BIM y alcances*.
- Gruppe, H. (2016). *Profundidad De Las Dimensiones BIM En Proyectos De Alta Complejidad*.
- Herrera Trujillo, J. E. (2022). *Módulos De Automatización De Dibujos De Vigas Y Conexiones En Acero Estructural, Operando Dentro De Un Sistema CAD*. Caracas.
- IEC. (2024). *International Electrotechnical Commission. International Electrotechnical Standards for Power and Low-Voltage Electrical Installations, Equipment, and Protection Systems*.
- IEEE - Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. (2000).
- ISO 19650-2. (2018). *ISO 19650-2*.
- Juárez Cervantes, J. D. (2005). *Sistemas De Distribución De Energía Eléctrica*.
- M. Stowell, D., & Mark A., S. (2019). *BIM Para El Diseño De Sistemas Eléctricos: Un Caso De Estudio De Sistemas De Media Tensión En Un Complejo Deportivo*.
- McGraw . (2024). *Análisis y reportes de implementación BIM en proyectos internacionales*.

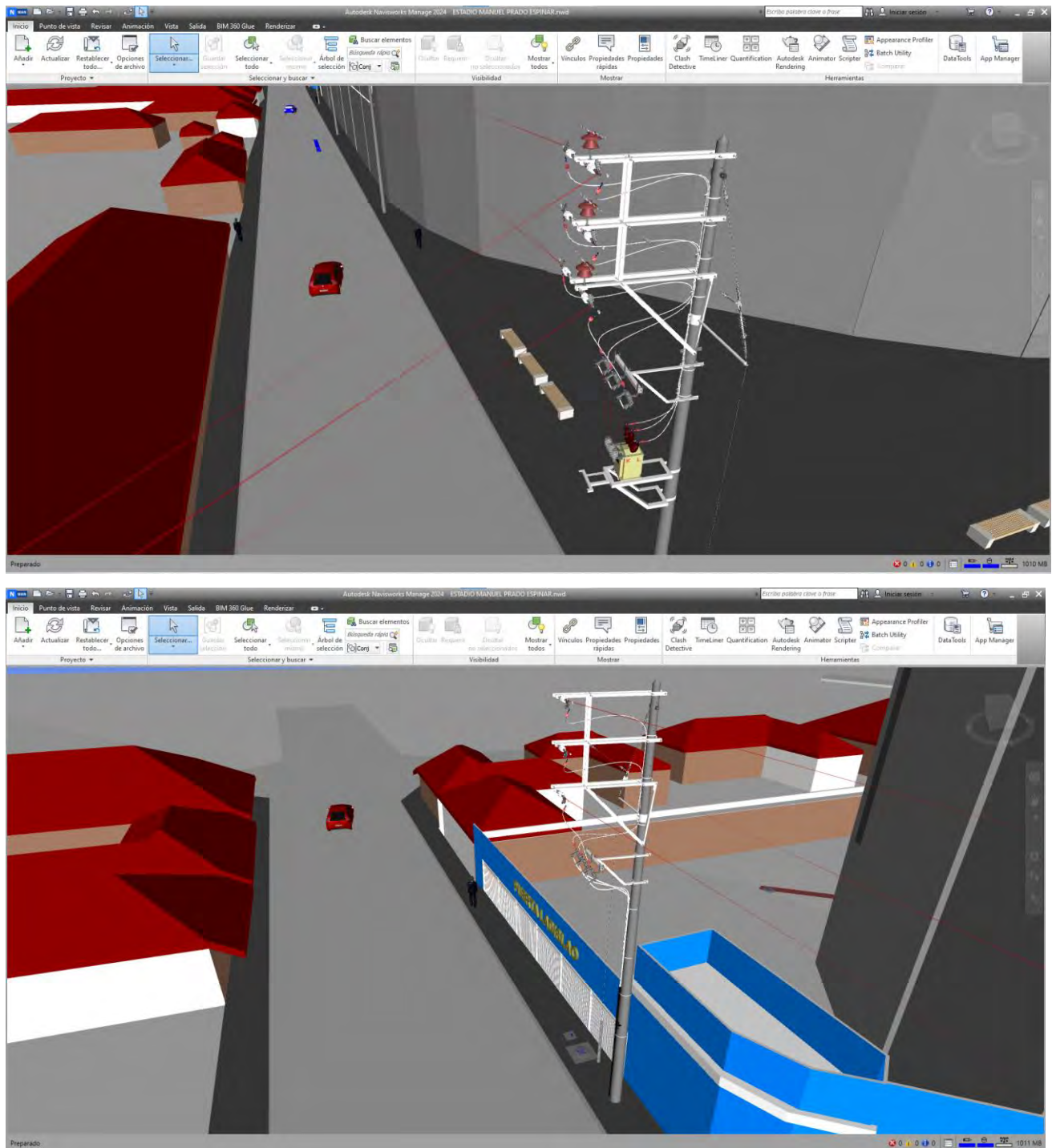
- Mendoza, J. A. (2019). *Optimización De La Eficiencia Energética En Redes De Distribución Eléctrica Mediante El Uso De Tecnologías Avanzadas*. repositorio.uni.edu.pe.
- Minas, M. d. (2011). *Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011)*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2002). *Procedimientos Para La Elaboración De Proyectos Y Ejecución De Obras En Sistemas De Distribución Y Sistemas De Utilización En Media Tensión En Zonas De Concesión De Distribución*.
- Ministerio de Vivienda. (2019). *Resolución Ministerial*. Lima.
- Morocho Sinchiguano, E. F. (2022). *Diseño de una red de distribución en media y baja tensión, para las comunidades: Rumipamba, Atacapi, Lumucha, canoa yacu y 10 de agosto en la provincia de orellana*.
- NORMA IEC 61089, 2. (2017). *IEC 61089*.
- Norma ISO 19650. (2018). *NORMA ISO 19650*.
- Norma Técnica Peruana. (2017).
- Rodríguez Cristóbal, C. J. (2024). *Implementación de la Metodología BIM para la Mejora de Gestión del Proyecto de Mejoramiento de los Alimentadores A4401, A4402 y A4403 — Junín, 2024*.
- Sanjuan, C., & Giraldo, C. (2021). *Implementación de la Metodología BIM para la Mejora de Gestión del Proyecto de Mejoramiento de los Alimentadores A4401, A4402 y A4403 — Junín, 2024*.
- Smith, P. (2015). *Gestión De Costes De Proyectos Con D BIM*. Revista *PROCEDIA - Ciencias Sociales Y Del Comportamiento*.
- Srivastava, S. (2016). *Administración De Contratos De Construcción*. Chennai, India: Notion Press.
- Suares Melendez, I., Vidal Gutierrez, L., & Leyva, C. (2019). *Ventajas De La Implementación De La Metodología BIM Utilizando*.
- Vargas, L., & Ríos, L. (2021). *Evaluación del Impacto de BIM en la Gestión de Proyectos de Construcción en Perú Caso de Estudio en Proyectos Residenciales y Comerciales*.
- Yucra Altamirano, L. (2023). *Programación Paramétrica–Visual Aplicada A Software Bim Para El Desarrollo De La Etapa De Diseño Y Cálculo De Instalaciones Eléctricas Interiores*.

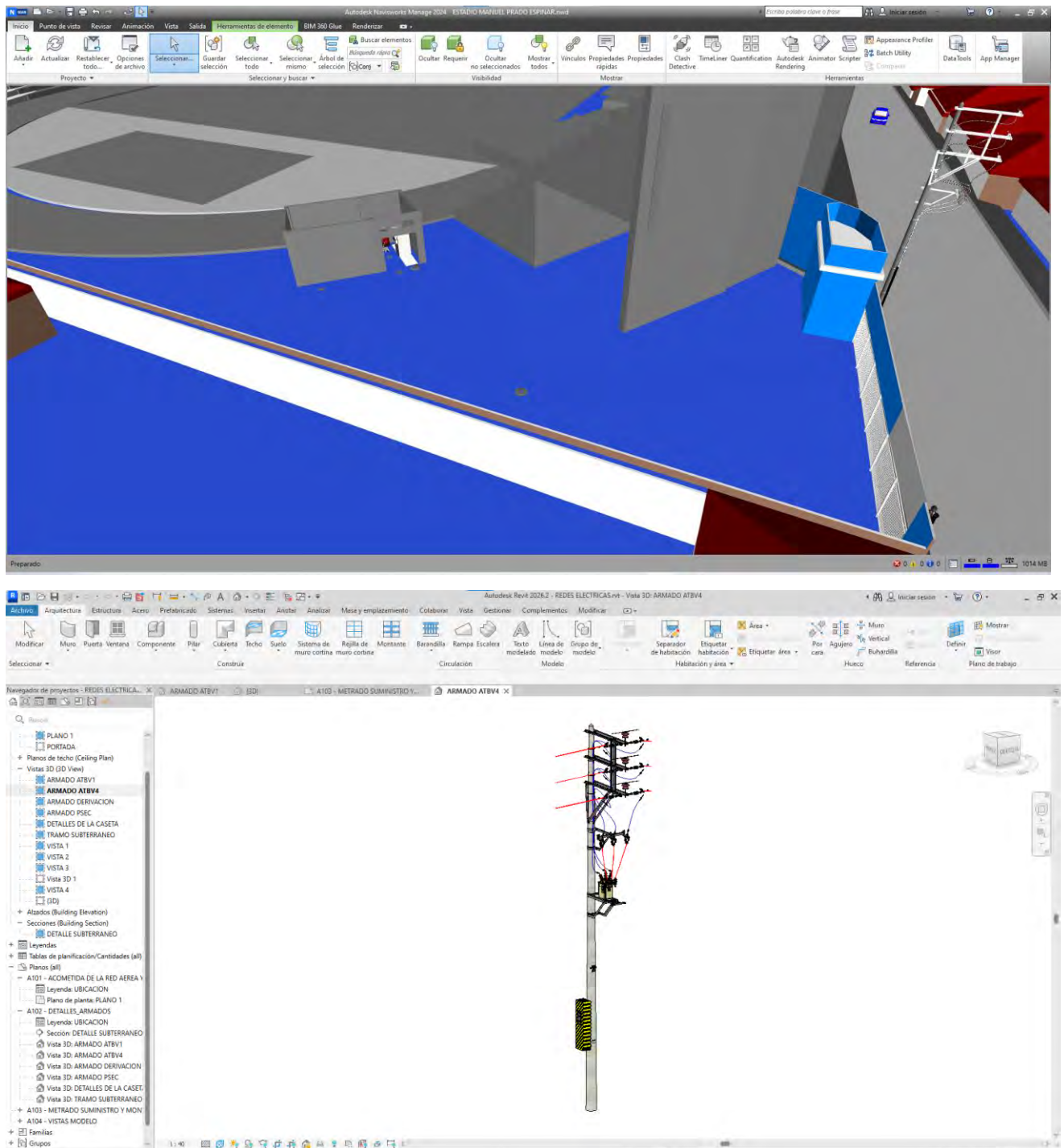
ANEXOS

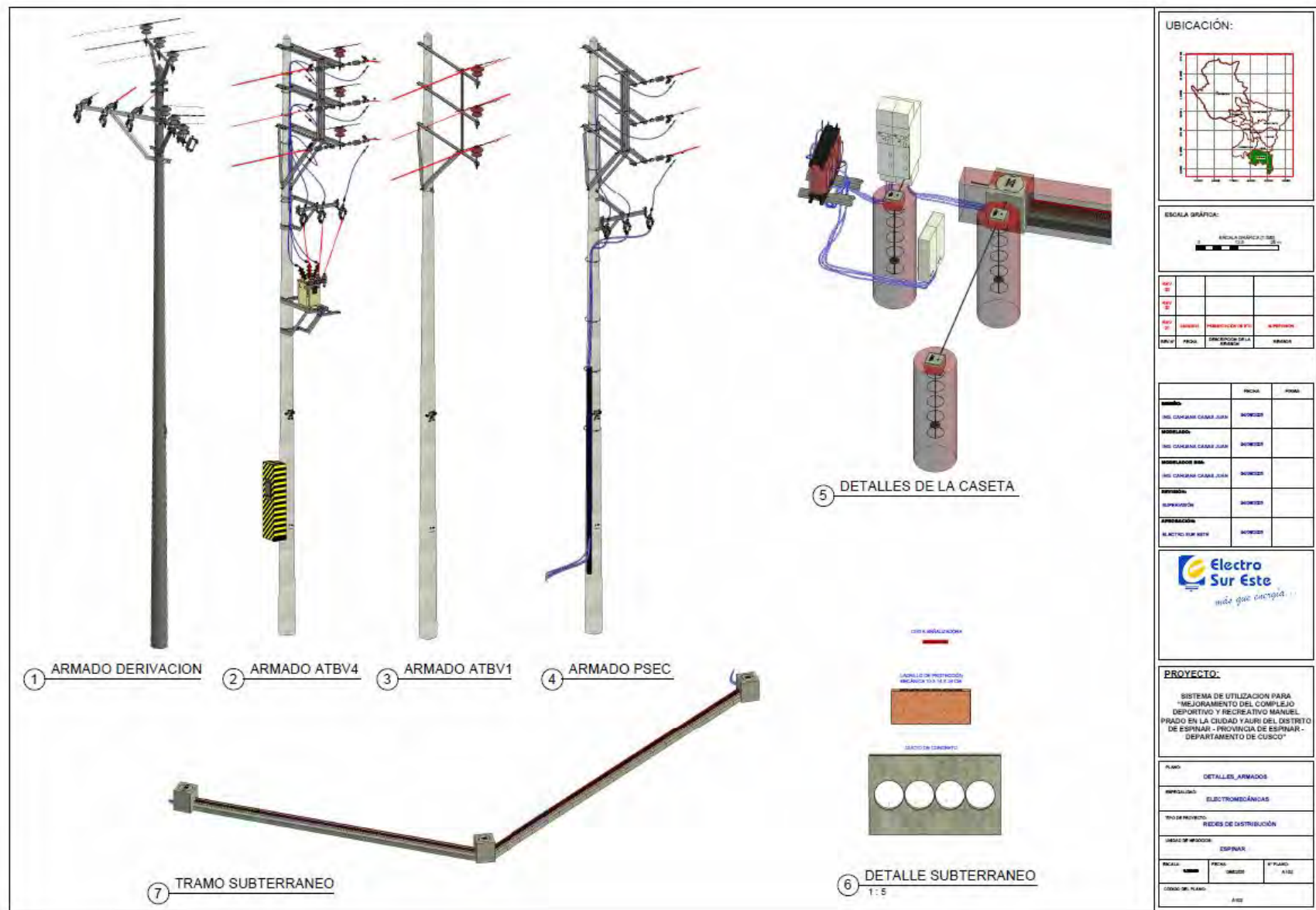
MODELADO REVIT – NAVISWORK Y PRESUPUESTO

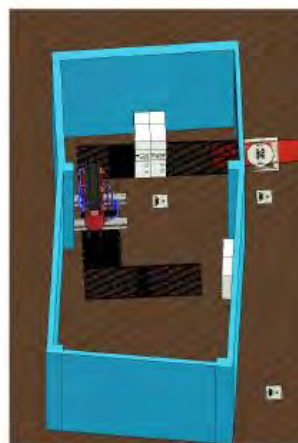
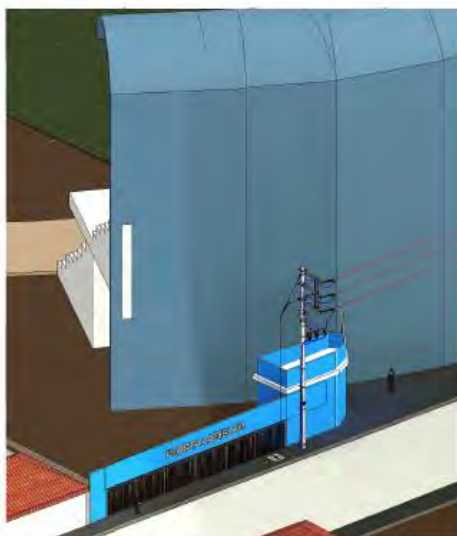
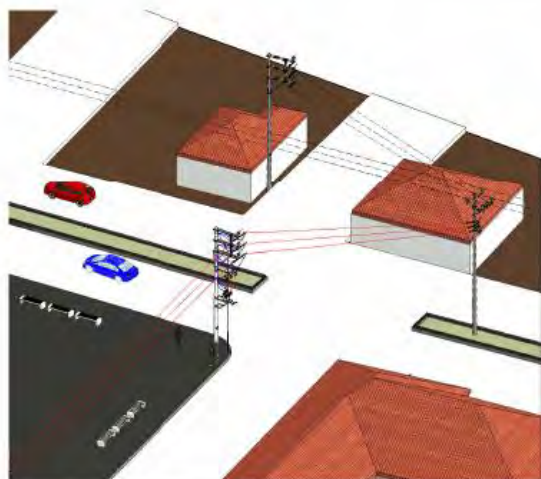












UBICACIÓN:



ESCALA GRÁFICA:



LEYENDA	PROYECTO EN EL SITIO	PROYECTO EN EL SITIO
PROYECTO	PROYECTO EN EL SITIO	PROYECTO EN EL SITIO
PROYECTO	PROYECTO EN EL SITIO	PROYECTO EN EL SITIO

FECHA	PROYECTO
PROYECTO	PROYECTO EN EL SITIO
PROYECTO	PROYECTO EN EL SITIO
PROYECTO	PROYECTO EN EL SITIO
PROYECTO	PROYECTO EN EL SITIO
PROYECTO	PROYECTO EN EL SITIO



PROYECTO:

SISTEMA DE UTILIZACIÓN PARA
"MEJORAMIENTO DEL COMPLEJO
DEPORTIVO Y RECREATIVO MANUEL
PRADO EN LA CIUDAD YAUPI DEL DISTRITO
DE ESPINAR - PROVINCIA DE ESPINAR -
DEPARTAMENTO DE CUSCO"

PLANO	VISTAS MODELO
REPRESENTACIÓN	ELECTROMECÁNICAS
TÍTULO DEL PROYECTO	PROYECTO DE DISTRIBUCIÓN
UBICACIÓN DEL PROYECTO	ESPINAR
FECHA	PROYECTO
FECHA	PROYECTO
FECHA	PROYECTO

MONTAJE ELECTROMECÁNICO		
PARTIDA MONTAJE	UNIDAD	CANTIDAD
4. MONTAJE DE POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO		0
EXCAVACIÓN HOYO (0.8 x 0.8 x 1.00 m) PARA POSTE CAC. 18 m. EN TERRENO NORMAL	unid	8
TAJE Y CIMENTACIÓN DE POSTE DE CAC. DE 194001300375	unid	8
5. INSTALACIÓN DE ARMADOS		
INSTALACIÓN DE ARMADO DE PALOMILLA PARA SECCIONAMIENTO EN MONOPOSTE TIPO PAM0	unid	2
INSTALACIÓN DE ARMADO PARA BASE PARA SUBESTACIÓN MONOPOSTE TIPO SAM0	unid	1
INSTALACIÓN DE ARMADO TRIFÁSICO EN BANDERA VERTICAL DE ALINEAMIENTO TIPO ATB1	unid	3
INSTALACIÓN DE ARMADO TRIFÁSICO EN BANDERA VERTICAL DE ANCLAJE TIPO ATB3	unid	3
INSTALACIÓN DE ARMADO TRIFÁSICO EN BANDERA VERTICAL DE ANCLAJE TIPO ATB4	unid	1
INSTALACIÓN DE ARMADO TRIFÁSICO EN BANDERA VERTICAL DE ANCLAJE Y ANULLO TIPO ATB5	unid	1
MONTAJE DE ARMADO DE PROTECCIÓN	unid	2
6. MONTAJE DE CONDUCTORES		
TENDIDO DE CABLE B1	m	20.458

MONTAJE ELECTROMECHANICO		
PARTIDA MONTAJE		
	UNIDAD	CANTIDAD
TENDIDO DE CABLE SUBTERRANEO NGXS7-3x130mm	m	272.6
TENDIDO Y PUESTA EN FLECHA DE CONECTOR ALEACION DE ALUMINIO AAAA DE 35 mm2	m	1060.3
7. INSTALACION DE RETENIDA VERTICAL AISLADA MT		
INSTALACION DE CABLE Y ACCESORIOS DE FLUJACION - SIMPLE O VERTICAL, YAO TIPO Y	ago	2
8. INSTALACION DE PUESTA A TIERRA		
EXCAVACION DE HOYO (1.10x1.20x2.28)mm PARA PUESTA A TIERRA	m3	21
9. MONTAJE DE SUBESTACIONES, EQUIPOS DE PROTECCION Y MANIOBRA		
CONEXIONADO DE TERMINAL EXT. 180KV/CV CNXS7-3X1750mm2 (N8)	untd	18
MONTAJE DE CELDA DE LLEGADA Y MONTAJE 24KV	untd	1
MONTAJE DE CELDA DE PROTECCION CON INTERRUPTOR DE POTENCIA 24KV CON GAS SF6	untd	1
MONTAJE DE EQUIPOS DE PROTECCION Y MANIOBRA	untd	1
MONTAJE DE TABLEROS	untd	2
MONTAJE DE TRANSFORMADOR TRIFASICO DE MEDICION	untd	1
MONTAJE DE TRANSFORMADOR TRIFASICO SECO 400 kVA, 230/22.80kV, 230 Kv, ONAN	untd	1
11. OBRAS CIVILES		
20. DOLZOS DE CONCRETO DE 100x100x1200mm INCL. CONCRETO DE TAPA CIRCULAR	untd	3
21. DOLZOS DE CONCRETO DE 100x100x1200mm INCL. LABRILLO DE PROTECCION Y CINTA DE SEÑALIZACION	m	34



ANEXO: GUÍA DE METODOLOGÍA BIM APLICADA A DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS

Introducción a la Metodología BIM como Proceso Integrado

“La metodología Building Information Modeling, conocida ampliamente por sus siglas BIM, representa una transformación profunda en la manera en que los profesionales de la arquitectura, ingeniería y construcción conciben, planifican y ejecutan proyectos. A diferencia de lo que comúnmente se cree, BIM no es simplemente un software ni una herramienta tecnológica aislada; es un proceso de trabajo colaborativo que articula información geométrica, técnica, temporal y económica dentro de un modelo digital tridimensional que evoluciona a lo largo de todas las fases del ciclo de vida de una edificación.

Desde una perspectiva operativa, la implementación de BIM implica una reorganización completa de los flujos de trabajo tradicionales. En el modelo convencional de diseño y construcción, cada especialidad opera de manera relativamente independiente, entregando planos bidimensionales que luego son interpretados por otros actores del proyecto. Esta fragmentación genera interferencias, errores de coordinación y reprocesos costosos. BIM, en cambio, propone un entorno común de datos donde arquitectos, ingenieros estructurales, instaladores y contratistas contribuyen simultáneamente a un modelo único, detectando conflictos antes de que se materialicen en obra.

La riqueza de la metodología BIM reside también en su capacidad para gestionar información paramétrica. Cada elemento del modelo, ya sea una viga, una tubería o una ventana, no es simplemente una forma geométrica, sino un objeto inteligente que contiene atributos: material, dimensiones, fabricante, costo estimado, fecha de instalación prevista y vida útil esperada. Esta densidad de información convierte al modelo BIM en una fuente de consulta permanente que trasciende la etapa de construcción y acompaña la operación y el mantenimiento del edificio durante décadas.

Niveles de Madurez BIM y su Relevancia en la Práctica Profesional

Para entender el grado de implementación de BIM en una organización o proyecto, se utiliza comúnmente el concepto de niveles de madurez, que en la práctica internacional se suelen describir en una escala progresiva. El nivel más básico, denominado nivel cero, corresponde al trabajo puramente bidimensional en papel o en archivos CAD sin ningún tipo de colaboración digital estructurada. Aunque parezca obsoleto, este nivel aún persiste en muchas empresas constructoras pequeñas o en proyectos de muy baja complejidad donde la inversión en tecnología BIM no se justifica económicamente.

El nivel uno introduce el uso de herramientas CAD tridimensionales combinadas con documentos 2D y alguna gestión electrónica de archivos, pero sin verdadera interoperabilidad entre disciplinas. Los modelos se producen de forma aislada y la colaboración se realiza mediante el intercambio de archivos, generalmente en formatos propietarios que no siempre son compatibles entre plataformas. En este nivel, los errores de coordinación siguen siendo frecuentes porque no existe un sistema centralizado de detección de interferencias.

El nivel dos de madurez BIM es el que actualmente exigen muchos gobiernos y clientes institucionales para proyectos de obra pública. En este nivel, todas las disciplinas desarrollan sus modelos en entornos tridimensionales específicos y los comparten mediante un formato de intercambio abierto, principalmente el formato IFC, siglas del inglés Industry Foundation Classes. La coordinación entre modelos se realiza mediante herramientas de federación que permiten superponer los distintos modelos parciales y ejecutar revisiones de interferencias de manera automatizada. El cliente recibe no solo los planos de construcción sino también un modelo estructurado con información suficiente para la gestión futura del edificio.

El nivel tres, todavía en proceso de consolidación en muchos mercados, aspira a un modelo único compartido en tiempo real a través de plataformas en la nube, donde todos los participantes trabajan de manera simultánea sobre los mismos datos, sin necesidad de exportar o importar archivos. Este nivel integra adicionalmente información sobre el ciclo de vida completo del edificio, incluyendo gestión de activos, análisis de rendimiento energético en

operación y planificación de intervenciones de mantenimiento preventivo. Alcanzar este nivel requiere no solo tecnología adecuada sino también una cultura organizacional y contractual que todavía está en formación en la mayoría de los países de América Latina.

BIM en Proyectos de Edificación Residencial

La tipología residencial presenta características particulares que condicionan la forma en que se aplica la metodología BIM. En proyectos de vivienda unifamiliar, la relación costo-beneficio de implementar un modelo BIM completo puede ser desfavorable si la complejidad del programa arquitectónico es baja. Sin embargo, incluso en estos casos, el modelado tridimensional paramétrico ofrece ventajas significativas: permite generar cuantificaciones automáticas de materiales con alta precisión, facilita la comunicación con clientes no especializados a través de visualizaciones fotorrealistas y reduce considerablemente los errores de acotación en los planos de construcción.

En proyectos residenciales de mayor escala, como conjuntos habitacionales o edificios multifamiliares en altura, la metodología BIM despliega todo su potencial. La repetición de tipologías de planta, característica común de este tipo de proyectos, se gestiona eficientemente mediante el uso de familias paramétricas que permiten modificar dimensiones, materiales o configuraciones de manera global, actualizando automáticamente todos los pisos del edificio. Esto reduce drásticamente el tiempo de producción de documentación y minimiza las inconsistencias entre plantas, fachadas y secciones.

Uno de los desafíos particulares de BIM en vivienda masiva es la coordinación entre el modelo arquitectónico y las instalaciones. En edificios de altura, los sistemas de fontanería, electricidad, ventilación mecánica y telecomunicaciones deben coexistir en espacios frecuentemente reducidos, especialmente en núcleos de comunicación y en patios de instalaciones. La detección temprana de interferencias mediante la revisión de modelos federados puede evitar modificaciones costosas en obra, que en el contexto de proyectos habitacionales con márgenes de rentabilidad ajustados representan pérdidas económicas significativas para el promotor.

Adicionalmente, en el contexto actual de construcción industrializada y prefabricación, BIM se convierte en un aliado indispensable para la coordinación dimensional de elementos fabricados fuera del sitio de construcción. Paneles de fachada, módulos de baño prefabricados o estructuras de acero dimensionadas en taller requieren una precisión milimétrica que solo el modelado paramétrico puede garantizar. La integración entre el modelo BIM y los sistemas de fabricación asistida por computadora, conocida como la conexión BIM-to-fabrication, representa uno de los desarrollos más prometedores de la metodología en el sector residencial industrializado.

BIM en Proyectos de Infraestructura Vial y Obras Civiles

La aplicación de BIM en proyectos de infraestructura vial y obras civiles tiene sus propias particularidades que la diferencian sustancialmente de la edificación. Históricamente, el sector de la ingeniería civil adoptó BIM con mayor lentitud que la arquitectura, en parte porque las herramientas de modelado tridimensional se desarrollaron originalmente pensando en edificios con geometrías regulares y repetitivas, mientras que las obras lineales como carreteras, puentes o redes de alcantarillado demandan capacidades específicas para el manejo de grandes extensiones territoriales, alineaciones en planta y alzado, y relaciones complejas con la topografía existente.

El modelado de carreteras mediante metodología BIM implica la integración de datos topográficos de alta precisión, obtenidos generalmente mediante levantamientos con drones equipados con sensores LiDAR o mediante fotogrametría aérea. Sobre esta nube de puntos georeferenciada se construye un modelo digital del terreno que sirve como base para el diseño del eje vial, la definición de taludes de desmonte y terraplén, el cálculo de movimiento de tierras y la localización de obras de drenaje. La vinculación dinámica entre el modelo del terreno y el modelo del proyecto permite actualizar instantáneamente los volúmenes de excavación cuando se modifica la rasante, algo que en el diseño tradicional bidimensional requería laboriosas recalculaciones manuales.

En el diseño de puentes, la metodología BIM ha demostrado ser especialmente valiosa para la coordinación entre las diferentes disciplinas que intervienen: ingeniería geotécnica, ingeniería estructural, ingeniería de materiales y arquitectura. El modelo tridimensional de una estructura de puente permite simular diferentes hipótesis de carga, visualizar el comportamiento de los elementos estructurales y planificar las secuencias de construcción con gran detalle. La integración de BIM con herramientas de análisis estructural mediante formatos de intercambio permite que los ingenieros calculistas trabajen directamente sobre geometrías derivadas del modelo de diseño, evitando la duplicación de trabajo y los errores de transcripción que surgen cuando se modelan independientemente la geometría y el modelo de cálculo.

Las redes de servicios urbanos, incluyendo alcantarillado, abastecimiento de agua, gas natural y conductos de telecomunicaciones, son otro campo donde BIM aporta un valor extraordinario, precisamente porque la gestión convencional de estas infraestructuras ha sido históricamente deficiente en cuanto a documentación. Muchos municipios enfrentan el problema de no disponer de información actualizada y confiable sobre la localización de sus redes subterráneas, lo que genera costos enormes cuando es necesario intervenir el subsuelo urbano. La implementación de BIM en proyectos de nuevas infraestructuras, combinada con la digitalización de las redes existentes mediante técnicas de detección subterránea, contribuye a construir modelos de información urbana que pueden integrarse en plataformas de gestión de ciudades inteligentes.

BIM en Proyectos de Equipamiento Público e Infraestructura Hospitalaria

Los edificios de equipamiento público, y en particular los hospitales y centros de salud, representan uno de los campos donde la metodología BIM genera mayor impacto. La complejidad programática de un hospital, con sus múltiples departamentos especializados, sus extensas redes de instalaciones médicas específicas y sus estrictos requerimientos normativos en materia de seguridad, accesibilidad e higiene, hace que la coordinación interdisciplinaria sea un desafío de primera magnitud. Un hospital de mediana envergadura puede tener varios cientos de especialidades de instalaciones diferentes: gases medicinales, sistemas de llamada de enfermería, instalaciones de imagenología, sistemas de esterilización, circuitos

diferenciados de residuos y un largo etcétera que difícilmente puede gestionarse de manera eficiente sin un modelo integrado de información.

La dimensión 4D de BIM, que incorpora la variable temporal al modelo tridimensional, adquiere una relevancia especial en proyectos hospitalarios donde la construcción debe realizarse por fases para no interrumpir la operación de los servicios existentes. La simulación de la secuencia constructiva mediante el modelo 4D permite identificar momentos críticos en que la construcción podría afectar áreas en funcionamiento, planificar rutas de acceso alternativas para el personal hospitalario y los pacientes, y coordinar la instalación de equipos de alta tecnología que requieren condiciones especiales de manipulación y montaje. Esta capacidad de simulación previa reduce significativamente los riesgos operacionales y los conflictos con la dirección del centro durante la ejecución de la obra.

Otro aspecto crítico en edificios hospitalarios es la gestión del mantenimiento, ya que estos edificios deben operar las veinticuatro horas del día durante décadas, con consecuencias directas sobre la salud de los pacientes si algún sistema falla. El modelo BIM enriquecido con información de activos, conocido en la literatura especializada como el modelo as-built o modelo de entrega, sirve como base para sistemas computerizados de gestión del mantenimiento. Cuando el personal técnico necesita localizar una válvula de corte, identificar al proveedor de un equipo de climatización o planificar la sustitución de un sistema eléctrico al término de su vida útil, el modelo BIM proporciona la información de manera inmediata y geográficamente ubicada, sin necesidad de revisar archivos en papel dispersos en diferentes departamentos.

El Plan de Ejecución BIM como Instrumento de Gobernanza del Proyecto

Uno de los elementos fundamentales para garantizar el éxito de la implementación BIM en cualquier tipología de proyecto es el Plan de Ejecución BIM, frecuentemente referido por sus siglas en inglés BEP, de Building Execution Plan. Este documento, elaborado idealmente antes del inicio de la fase de diseño, establece el marco de trabajo colaborativo que regirá la producción y gestión del modelo a lo largo de todo el proyecto. Sin un BEP bien definido, la

implementación BIM tiende a fragmentarse en iniciativas individuales de cada especialista, perdiendo los beneficios de la coordinación centralizada que caracterizan a los proyectos verdaderamente maduros en esta metodología.

El Plan de Ejecución BIM define en primer lugar los usos BIM del proyecto, es decir, las aplicaciones concretas para las cuales se va a emplear el modelo en cada fase. No todos los proyectos requieren todos los usos posibles de BIM; la selección adecuada de usos en función de los objetivos del cliente y de las capacidades del equipo es una decisión estratégica que debe tomarse al inicio. Entre los usos más habituales se encuentran la coordinación de interferencias entre disciplinas, la cuantificación y presupuestación automatizada, la planificación de obra mediante modelos 4D, la simulación de comportamiento energético y la gestión de activos en la fase de operación. Cada uno de estos usos implica requisitos específicos de detalle del modelo y de estructura de la información.

El concepto de nivel de detalle, conocido como LOD por sus siglas en inglés Level of Development, es otro pilar fundamental del Plan de Ejecución BIM. Este sistema establece de manera progresiva el grado de desarrollo geométrico y de información que deben alcanzar los elementos del modelo en cada fase del proyecto. En las etapas iniciales de diseño conceptual, los elementos pueden modelarse con geometría aproximada y atributos genéricos. A medida que el proyecto avanza hacia las fases de diseño de detalle, construcción y operación, el nivel de detalle se incrementa progresivamente hasta incluir información específica de fabricante, tolerancias de montaje y datos de mantenimiento. La correcta definición del LOD requerido en cada fase evita tanto el exceso de trabajo innecesario en etapas tempranas como la falta de información suficiente cuando es necesaria para la toma de decisiones.

La definición del entorno común de datos, conocido por sus siglas CDE del inglés Common Data Environment, completa el núcleo del Plan de Ejecución BIM. El CDE es la plataforma digital centralizada donde se almacenan, comparten y gestionan todos los archivos del proyecto, incluyendo los modelos BIM, los documentos técnicos, las comunicaciones formales y los registros de revisiones. Una correcta configuración del CDE establece flujos de trabajo estructurados para la publicación y aprobación de documentos, estados definidos para cada

archivo según su nivel de validación, y protocolos de nomenclatura que garantizan la trazabilidad de todas las versiones del modelo a lo largo del tiempo. La disciplina en el uso del CDE es tan importante como la calidad técnica del modelo mismo.

Interoperabilidad y el Formato IFC como Estándar Abierto

La interoperabilidad entre diferentes plataformas de software es uno de los desafíos técnicos más persistentes en la implementación de BIM. El mercado de software BIM está dominado por un número reducido de grandes plataformas comerciales, pero en la práctica de los proyectos colaborativos intervienen equipos que utilizan herramientas diferentes según su disciplina, su tamaño o sus preferencias de trabajo. Un equipo de arquitectura puede trabajar en un entorno mientras los ingenieros estructurales utilizan otro y los instaladores un tercero. Si estas plataformas no pueden intercambiar información de manera fluida, los beneficios de la colaboración se ven comprometidos.

El formato IFC, desarrollado y mantenido por la organización internacional buildingSMART, es la respuesta de la industria a este desafío de interoperabilidad. Se trata de un esquema de datos abierto y neutral que permite describir objetos de construcción con toda su información geométrica y paramétrica de manera independiente del software que los generó. Cuando un modelo BIM se exporta en formato IFC, cualquier plataforma compatible con este estándar puede leerlo, analizarlo y utilizarlo como referencia, aunque las posibilidades de edición directa pueden ser limitadas según la herramienta. La estandarización mediante IFC es la condición que hace posible la coordinación entre equipos multidisciplinarios que trabajan con software heterogéneo.

Sin embargo, el formato IFC no está exento de limitaciones que es importante conocer para gestionar adecuadamente las expectativas del equipo de proyecto. La traducción de la geometría paramétrica nativa de cada plataforma al esquema IFC implica inevitablemente una pérdida parcial de información, especialmente en lo que respecta a las relaciones paramétricas entre elementos. Un modelo importado desde IFC no retendrá la capacidad de modificar automáticamente todos los elementos asociados cuando se cambia un parámetro, como ocurre

en el modelo nativo. Esta limitación hace que en proyectos altamente colaborativos sea necesario definir con claridad cuál es el modelo de referencia de cada disciplina y establecer protocolos de actualización coordinada cuando se producen cambios significativos en el diseño.

BIM y Sostenibilidad: Análisis Energético Integrado en el Proceso de Diseño

La integración del análisis de desempeño energético en el proceso de diseño BIM representa uno de los avances más significativos en la búsqueda de una arquitectura más sostenible. Tradicionalmente, la evaluación energética de un edificio se realizaba una vez concluido el diseño, como un proceso de verificación que con frecuencia revelaba deficiencias difíciles de corregir sin modificaciones estructurales al proyecto. BIM cambia radicalmente este paradigma al permitir que las simulaciones energéticas se realicen de manera iterativa a lo largo de las etapas de diseño, cuando las decisiones sobre orientación, composición de fachadas, sistemas de climatización y tipología estructural aún pueden modificarse sin costos prohibitivos.

La vinculación entre el modelo BIM y los programas de simulación energética se realiza mediante exportaciones del modelo geométrico que los motores de cálculo utilizan para definir las zonas térmicas, las superficies de intercambio y los sistemas de acondicionamiento. Esta conexión permite evaluar de manera relativamente rápida el impacto de diferentes decisiones de diseño sobre la demanda energética del edificio: el efecto de aumentar el espesor del aislamiento en fachada, la conveniencia de incorporar protecciones solares en determinadas orientaciones, o la comparación entre diferentes sistemas de generación de energía renovable. El diseñador dispone así de información cuantitativa para fundamentar decisiones que en el pasado se tomaban exclusivamente con base en criterios intuitivos o en tablas estáticas de normativas.

El cálculo de la huella de carbono incorporada en los materiales de construcción es otro campo donde BIM aporta capacidades valiosas. Mediante la vinculación de la base de datos de materiales del modelo BIM con inventarios de impacto ambiental de ciclo de vida, es posible

estimar la cantidad de dióxido de carbono equivalente asociada a la fabricación, transporte e instalación de cada material utilizado en el edificio. Esta información permite al equipo de diseño comparar alternativas de materiales no solo desde el punto de vista del costo económico sino también desde la perspectiva del impacto ambiental, tomando decisiones más informadas en la selección de sistemas constructivos, acabados y elementos estructurales.

Barreras de Implementación BIM en el Contexto Latinoamericano

A pesar del reconocimiento generalizado de las ventajas que ofrece la metodología BIM, su adopción en América Latina avanza a un ritmo significativamente más lento que en regiones como Europa del Norte, donde algunos países han establecido desde hace más de una década la obligatoriedad de BIM para contratos de obra pública. Las barreras que frenan esta adopción son de diversa naturaleza y se superponen de maneras que requieren un análisis diferenciado según el contexto específico de cada país, cada tipo de empresa y cada segmento del mercado de la construcción.

La barrera más frecuentemente citada es el costo de la inversión inicial, que abarca no solo las licencias de software sino también la formación del personal, la actualización del equipamiento informático y el tiempo necesario para que el equipo alcance un nivel de productividad comparable al que tenía con las herramientas tradicionales. Para empresas pequeñas y medianas, que representan la mayor parte del tejido empresarial del sector de la construcción en América Latina, esta inversión puede representar un obstáculo real especialmente si la demanda de proyectos que exigen BIM es aún limitada. La lógica del mercado impone que la inversión en capacidades BIM solo se justifica cuando existe suficiente demanda de clientes que las valoren y retribuyan adecuadamente.

Una barrera menos obvia pero igualmente importante es la resistencia cultural al cambio en los procesos de trabajo. La metodología BIM no solo introduce nuevas herramientas; exige también una reorganización de las responsabilidades dentro del equipo de proyecto, una mayor transparencia en el proceso de diseño y una disposición para compartir información de manera temprana con otras disciplinas. Esto puede generar resistencias en profesionales

acostumbrados a trabajar de manera más autónoma y que perciben la colaboración estrecha como una pérdida de control sobre su ámbito de expertise. Superar esta barrera cultural requiere liderazgo claro por parte de los responsables de las empresas y una comunicación efectiva sobre los beneficios concretos que BIM aporta a cada perfil profesional.

El marco normativo y contractual también presenta desafíos específicos en el contexto latinoamericano. Los contratos tradicionales de construcción no están diseñados para gestionar los modelos BIM como documentos contractuales, lo que genera incertidumbre jurídica sobre la responsabilidad de la información contenida en el modelo y sobre los procedimientos a seguir en caso de discrepancias entre el modelo y los planos impresos. La actualización de los marcos legales y normativos para incorporar adecuadamente la figura del modelo BIM como documento técnico-legal es un proceso que varios países de la región han iniciado pero que en la mayoría de los casos aún no está completamente resuelto, generando inseguridad tanto en los equipos de diseño como en los propietarios y promotores de proyectos.

Perspectivas Futuras: BIM, Inteligencia Artificial y Gemelos Digitales

El horizonte de evolución de la metodología BIM apunta hacia su convergencia con tecnologías emergentes que ampliarán considerablemente sus capacidades actuales. La integración de herramientas de inteligencia artificial en los flujos de trabajo BIM ya está comenzando a manifestarse en aplicaciones concretas: sistemas de generación automática de layouts de planta a partir de requerimientos programáticos, algoritmos de optimización que proponen configuraciones estructurales más eficientes en términos de material, o sistemas de revisión automática de modelos que verifican el cumplimiento normativo sin necesidad de revisión manual elemento por elemento.

El concepto de gemelo digital, que implica la creación de una réplica digital dinámica de un edificio o infraestructura que se actualiza en tiempo real con datos provenientes de sensores instalados en el edificio real, representa la extensión natural del modelo BIM hacia la fase de operación. Mientras el modelo BIM convencional es una representación estática que se actualiza manualmente cuando se producen cambios en el edificio, el gemelo digital incorpora

datos de temperatura, consumo energético, ocupación, rendimiento de equipos y estado de los sistemas constructivos de manera continua y automatizada. Esta información en tiempo real permite anticipar fallos de equipos, optimizar el consumo energético en función de las condiciones reales de uso y planificar intervenciones de mantenimiento con mucha mayor precisión.

La realidad aumentada y la realidad virtual están comenzando también a integrarse con los modelos BIM para transformar la manera en que los diferentes actores del proyecto interactúan con la información. Los trabajadores en obra pueden acceder mediante dispositivos móviles a visualizaciones del modelo superpuestas sobre la construcción real, comparando lo que deben ejecutar con lo que ya está construido e identificando inmediatamente cualquier desviación. Los clientes pueden recorrer virtualmente su futuro edificio antes de que comience la construcción, tomando decisiones informadas sobre acabados, distribución o equipamiento que en el proceso tradicional solo podían evaluar a través de planos y renders estáticos. Estas tecnologías no sustituyen al modelo BIM sino que lo hacen accesible y útil para perfiles de usuarios que no tienen formación técnica para interpretar planos o modelos tridimensionales convencionales.

En definitiva, la metodología BIM no es un destino final sino un camino de transformación continua que seguirá evolucionando a medida que maduran tanto las tecnologías que lo soportan como las prácticas profesionales y los marcos normativos que lo gobiernan. La clave del éxito en la implementación de BIM, independientemente de la tipología de proyecto o del contexto geográfico, reside en la comprensión de que su valor fundamental no está en el software sino en la cultura de colaboración, transparencia y gestión informada de la información que promueve. Las organizaciones que asimilan este principio y lo traducen en procesos concretos de trabajo son las que obtienen los mayores beneficios de la metodología, con independencia de la sofisticación de las herramientas que utilicen.

Anexo: MANUAL DE IMPLEMENTACIÓN METODOLOGÍA BIM EN AUTODESK REVIT Alimentador de Media Tensión | Complejo Deportivo del Distrito de Espinar

INTRODUCCIÓN

El presente manual describe, de manera sistemática y ordenada, el proceso que siguió el equipo técnico para implementar la metodología BIM (Building Information Modeling) mediante el software Autodesk Revit en el diseño del alimentador de media tensión del Complejo Deportivo del Distrito de Espinar, ubicado en la región Cusco, Perú.

A diferencia de los documentos de diseño convencionales —que suelen presentar instrucciones aisladas para tareas específicas—, este manual narra el recorrido completo que transitó el equipo de trabajo: desde la configuración inicial del entorno digital hasta la obtención de metrados automatizados y la verificación normativa dentro del modelo tridimensional. La narración se estructura de forma cronológica, respetando la secuencia lógica de actividades que la plataforma BIM impone al flujo de trabajo.

El manual está redactado en tercera persona, con el propósito de documentar fielmente las acciones que ejecutaron los distintos miembros del equipo en cada etapa del proceso. Cualquier profesional del sector eléctrico que desee replicar o adaptar esta metodología a proyectos similares encontrará aquí una guía de referencia que integra criterios técnicos, normativas aplicables y decisiones de modelado justificadas.

CONFIGURACIÓN INICIAL DEL ENTORNO BIM EN REVIT

Preparación del proyecto en Autodesk Revit

El primer paso que dio el equipo fue abrir Autodesk Revit en su versión 2024 y crear un archivo de proyecto nuevo, seleccionando la plantilla de trabajo correspondiente a instalaciones mecánicas, eléctricas y de plomería (MEP, por sus siglas en inglés). Esta plantilla resultó la

más adecuada para representar componentes de infraestructura eléctrica, dado que incorpora categorías de elementos, parámetros predefinidos y vistas específicas para disciplinas técnicas. Una vez creado el archivo base, el equipo procedió a configurar las unidades del proyecto. Se seleccionaron metros como unidad de longitud y kilovatios como unidad de potencia, ajustando también la precisión decimal de cada tipo de medida para que los valores extraídos del modelo fueran coherentes con los formatos exigidos por la empresa concesionaria Electro Sur Este. Este ajuste, aparentemente menor, resultó determinante para que las tablas de planificación generadas por Revit coincidieran con los presupuestos elaborados en paralelo.

Seguidamente, el coordinador BIM definió la nomenclatura interna del proyecto: los archivos de familia, las vistas, las leyendas y las hojas de planos recibieron nombres estructurados bajo un código alfanumérico que permitía identificar de inmediato la disciplina, la zona del alimentador y el estado de revisión del elemento. Esta convención, aparentemente administrativa, fue la base que permitió al equipo trabajar de forma ordenada a lo largo de todo el proceso.

Definición del sistema de coordenadas y vinculación topográfica

Antes de modelar cualquier componente eléctrico, el equipo importó la información topográfica del sitio. Para ello, utilizó archivos en formato DWG generados a partir de un levantamiento satelital del área del Complejo Deportivo de Espinar y sus alrededores. Revit procesó estos datos y los incorporó al modelo como una superficie topográfica tridimensional, lo que permitió que todos los elementos modelados posteriormente quedaran anclados a las cotas reales del terreno.

El equipo configuró el punto de proyecto y el punto de relevamiento en coordenadas UTM, de modo que el modelo BIM resultante pudiera vincularse con cartografía oficial sin necesidad de transformaciones adicionales. Esta decisión evitó los errores de desplazamiento que suelen presentarse cuando los modelos se trabajan en coordenadas locales arbitrarias.

Con la topografía integrada, el equipo también importó una imagen satelital georeferenciada que sirvió como fondo visual del modelo. Si bien esta imagen no forma parte del cálculo ni de los metrados, facilitó enormemente la comprensión espacial del trazado durante las sesiones de revisión, permitiendo que todos los integrantes del equipo —incluidos quienes no eran especialistas en modelado BIM— pudieran identificar con facilidad los elementos y su relación con el entorno real.

Organización del Entorno Común de Datos (CDE)

Antes de comenzar el modelado técnico, el coordinador BIM estableció la estructura del Entorno Común de Datos (CDE), que en este proyecto se implementó mediante una carpeta de red compartida con acceso controlado por roles. El CDE se organizó en cuatro secciones principales: trabajo en progreso, para archivos en desarrollo; en revisión, para modelos pendientes de aprobación; publicado, para versiones oficialmente aceptadas; y archivado, para registros históricos de versiones anteriores.

Cada archivo dentro del CDE siguió el código de nomenclatura establecido previamente, lo que garantizó que ningún integrante del equipo pudiera confundir una versión preliminar con la versión vigente del modelo. Esta estructura eliminó el principal problema de los proyectos 2D tradicionales: que distintas personas trabajen sobre versiones diferentes del mismo plano sin saberlo.

CREACIÓN DE FAMILIAS PARAMÉTRICAS DE COMPONENTES ELÉCTRICOS

La creación de familias paramétricas constituyó el corazón del trabajo técnico en Revit. A diferencia de los dibujos CAD, donde un poste no es más que un conjunto de líneas y arcos, en el entorno BIM cada componente existe como un objeto inteligente que combina geometría tridimensional con atributos técnicos editables. El equipo comprendió desde el inicio que la calidad del modelo dependería directamente de la calidad de las familias que se construyeran.

Familia del poste de concreto armado

El equipo comenzó por el elemento más recurrente del proyecto: el poste de concreto armado centrífugo de quince metros de altura, carga nominal de cuatrocientos kilogramos en punta, con diámetro de ciento ochenta milímetros en el extremo superior y cuatrocientos cinco milímetros en la base. Para construir esta familia, el modelador abrió el editor de familias de Revit y seleccionó la plantilla de Mobiliario Estructural, que resultó la más adecuada para soportar las propiedades mecánicas requeridas.

La geometría se construyó como un sólido de revolución mediante la herramienta de giro o «Revolve», partiendo de un perfil trapezoidal que representaba la sección transversal del poste. Los diámetros, la altura total y la profundidad de empotramiento se definieron como parámetros de instancia, lo que significó que cualquier modificación posterior en esas dimensiones podía hacerse directamente desde las propiedades del elemento, sin necesidad de abrir el editor de familias.

Adicionalmente, el modelador incluyó parámetros de tipo para la clasificación del poste: código de proveedor, resistencia característica del concreto, normativa de diseño aplicable y la masa estimada del elemento. Estos atributos no afectan la geometría visible en pantalla, pero sí se extraen automáticamente en las tablas de planificación, lo que permitió al equipo generar listados de materiales sin intervención manual.

Una vez finalizada la familia, el modelador la guardó en la biblioteca del proyecto bajo el código convenido y la cargó en el archivo central. Desde ese momento, cualquier integrante del equipo pudo insertar postes en el modelo simplemente arrastrando la familia desde el navegador de proyectos, sin necesidad de redibujar el elemento.

Familias de armados eléctricos especializados

La creación de los armados eléctricos presentó un nivel de complejidad considerablemente mayor, dado que cada configuración combina múltiples piezas físicas que deben quedar

correctamente ensambladas en el modelo tridimensional. El equipo construyó familias individuales para cada componente del armado —crucetas, espigas, aisladores, abrazaderas, grapas de anclaje— y luego los ensambló dentro de familias anidadas que representaban el armado completo.

Armado ATBV1 — Configuración de Alineamiento

Este armado, utilizado en los tramos rectos del alimentador, fue el primero que construyó el equipo. La geometría se modeló a partir de los planos de detalle originales del proyecto, pero enriquecida con las dimensiones reales de cada componente. La cruceta de perfil angular quedó representada con sus dimensiones exactas de espesor y longitud, los aisladores de porcelana tipo PIN ANSI 56-4 se modelaron con su geometría característica y los herrajes de sujeción se incorporaron con las tolerancias dimensionales indicadas por el fabricante.

El especialista en armados asignó parámetros editables a los elementos de mayor variabilidad: el diámetro de las abrazaderas tipo CAS, que debía ajustarse al diámetro del poste en el punto de instalación, y la longitud de los pernos maquinados, que variaban según la configuración del armado. Esta parametrización fue la que permitió detectar la incompatibilidad dimensional que los planos 2D no habían revelado: la abrazadera especificada originalmente con la anotación genérica «diámetro según requerimiento de poste» fue reemplazada por un valor exacto que el modelo calculó automáticamente al vincularse con las dimensiones del poste en su ubicación específica.

Armado ATBV3 — Configuración de Anclaje

Este armado incorporó componentes adicionales respecto al ATBV1: aisladores poliméricos de suspensión de seiscientos cincuenta milímetros y treinta y seis kilovoltios, riostras de refuerzo y grapas de anclaje tipo pistola. La complejidad de su ensamble requirió que el modelador definiera relaciones de restricción entre los elementos, de modo que al modificar algún parámetro de la cruceta, los aisladores y las grapas se desplazaran automáticamente para mantener la geometría correcta del conjunto.

Fue durante el modelado de este armado que el equipo detectó el error dimensional más significativo del diseño original: el apoyo abrazadera para contrapunta estaba especificado en los planos 2D con una longitud de un metro con veinte centímetros, pero al representarlo en el entorno tridimensional del modelo, junto con el poste y el resto de los componentes del armado, quedó en evidencia que la longitud necesaria para un ajuste correcto era de un metro con cincuenta y cuatro centímetros. La diferencia de treinta y cuatro centímetros habría comprometido la estabilidad estructural del armado si el elemento hubiera sido fabricado con las dimensiones del plano original.

Fin de Línea y Transición Aéreo-Subterránea

Este armado representó la terminación del tramo aéreo del alimentador y el punto de transición hacia la red subterránea. Su modelado fue especialmente cuidadoso, dado que concentraba múltiples funciones en un espacio reducido: el anclaje mecánico de los conductores aéreos, el descenso controlado del cable hacia la canalización subterránea y el sistema de descarga a tierra. El equipo modeló cada una de estas funciones como subconjuntos independientes dentro de la familia, lo que facilitó la verificación de los espacios de seguridad requeridos entre conductores activos y partes metálicas puestas a tierra.

Familias de aisladores y equipos de protección

El modelador construyó familias independientes para los aisladores de porcelana tipo PIN ANSI 56-4 y para los aisladores poliméricos de suspensión. En ambos casos, la geometría representó fielmente la forma exterior del componente, incluyendo los discos o nervaduras características que incrementan la distancia de fuga superficial. Los parámetros técnicos asociados —tensión nominal de aislamiento, distancia de fuga mínima, carga mecánica de rotura— se cargaron como atributos de tipo en la familia, vinculándolos a las normativas IEC correspondientes.

Los seccionadores trifásicos de media tensión se modelaron con un nivel de detalle que incluyó no solo el cuerpo del equipo sino también el espacio de maniobra requerido para su operación

manual. Esta decisión, adoptada por el especialista en armados, permitió verificar en el modelo que el personal técnico dispondría de espacio libre suficiente para accionar los equipos sin riesgo de contacto con partes energizadas o con estructuras adyacentes. Los pararrayos de veintiún kilovoltios se modelaron considerando su posicionamiento estratégico dentro de la red, verificando en el entorno virtual que la distancia de instalación respecto a los conductores y a los transformadores cumpliera con las recomendaciones de la norma IEC 60099.

MODELADO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y SUBESTACIÓN

Construcción del trazado aéreo

Con las familias de postes y armados disponibles en la biblioteca del proyecto, el modelador comenzó a ubicar los elementos en el modelo según el trazado definido por el plano de planta original. Cada poste se insertó en las coordenadas que correspondían a su ubicación real en el terreno, quedando anclado automáticamente a la superficie topográfica previamente cargada. Este anclaje topográfico fue fundamental: determinó la profundidad de empotramiento correcta para cada poste según el nivel del terreno en ese punto, un dato que el diseño 2D simplificaba mediante un único valor fijo para todos los postes.

Una vez posicionados los postes, el equipo colocó los armados correspondientes a cada uno. El modelo Revit permitía visualizar en tiempo real cómo quedaba el conjunto desde múltiples ángulos: vista de planta, de alzado lateral, perspectiva isométrica y sección transversal. Esta capacidad de exploración visual fue aprovechada sistemáticamente por el coordinador BIM para revisar que las distancias entre fases, entre conductores y respecto a las edificaciones circundantes cumplieran con los valores mínimos establecidos en el Código Nacional de Electricidad, artículo 232.C.

El tendido de los conductores AAAC de treinta y cinco milímetros cuadrados se representó mediante elementos de tubería o conducto en Revit, configurados con los parámetros materiales del conductor: aleación de aluminio serie 6201-T81, sección nominal, resistencia por kilómetro y capacidad de corriente. A diferencia de las líneas rectas de los planos 2D, estos

conductores en el modelo BIM seguían la trayectoria real del trazado, incluyendo las desviaciones de dirección en los postes de anclaje, lo que permitió calcular automáticamente la longitud real de conductor instalado.

Red de distribución subterránea y buzones

La porción subterránea del alimentador comenzó en el armado de fin de línea ATBV5 y se extendía hasta la subestación tipo caseta. El equipo modeló esta red utilizando los elementos de bandeja de cable y tubería de Revit, a los que asignó los parámetros correspondientes al cable N2XSY de cincuenta milímetros cuadrados con tensión nominal de dieciocho sobre treinta kilovoltios.

Los buzones de media tensión representaron uno de los puntos de mayor valor del modelado tridimensional. En el diseño 2D original, estos elementos aparecían como rectángulos en la planta, sin información sobre su profundidad, sus cotas de tapa o la disposición de las canalizaciones de entrada y salida. En el modelo BIM, cada buzón quedó representado con sus dimensiones internas completas, la tapa de acceso con sus dimensiones exactas, el sistema de drenaje, los escalones de seguridad y las entradas de conductos con sus respectivas cotas de llegada. Esta representación permitió verificar que las cotas de instalación de los buzones fueran compatibles con la topografía del terreno y con las redes de drenaje pluvial existentes. Fue durante el modelado de la red subterránea que el equipo identificó que el trazado proyectado cruzaba por una zona de infraestructura de drenaje no registrada en los planos originales. Al integrar en el modelo las condiciones reales del subsuelo, el equipo pudo replantear el trazado de los ductos sin afectar el cronograma, dado que la modificación se realizó en el entorno virtual antes de que comenzara cualquier trabajo en campo.

Modelado de la subestación tipo caseta

La subestación de distribución fue modelada como un sistema integral que combinó la estructura civil de la caseta prefabricada con todos los equipos eléctricos internos. El equipo construyó la geometría exterior de la caseta de concreto con sus dimensiones reales, incluyendo

la puerta de acceso, las rejillas de ventilación lateral, el sistema de drenaje perimetral y los muros de contención.

En el interior, el especialista en armados modeló la celda de llegada y medición de veinticuatro kilovoltios, la celda de interrupción con interruptor de potencia y gas SF₆, el transformador seco encapsulado de cuatrocientos kilovoltios-amperio y el tablero autoportado de distribución en baja tensión. Cada equipo fue posicionado respecto a los demás siguiendo las distancias de seguridad establecidas en la norma IEC 62271-200, lo que en el modelo 3D se verificaba visualmente con herramientas de acotación dinámica.

El resultado de este modelado fue especialmente valioso para la verificación de la accesibilidad interior: el coordinador BIM realizó una navegación virtual por el interior de la caseta y comprobó que el personal técnico podría circular con holgura entre los equipos, acceder a los paneles frontales de las celdas sin obstáculos y realizar el cambio del transformador mediante equipo de izaje sin interferir con otras instalaciones. Estas condiciones no habían sido verificables en los planos 2D originales.

Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra denominado PAT-1 fue modelado en su totalidad dentro del entorno Revit. Las jabalinas de cobre, el conductor de bajada, la caja de registro para medición y las conexiones a cada equipo quedaron representadas con su disposición espacial real. Esta representación tridimensional fue indispensable para verificar que las distancias .

MODELADO DEL CONTEXTO URBANO E INTEGRACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

Incorporación del entorno construido

Una de las decisiones que marcó la diferencia entre este proyecto y los modelos BIM más básicos fue la resolución de incorporar el entorno urbano existente al modelo. El asistente BIM se encargó de construir los volúmenes representativos de las edificaciones circundantes: el

estadio con sus graderías y campo de juego, el Centro de Salud de Yauri, los bloques del complejo deportivo y los muros perimetrales.

Estas masas construidas no tenían el nivel de detalle arquitectónico de un modelo BIM de edificación, pero sí reproducían fielmente sus dimensiones en planta y sus alturas, lo que fue suficiente para que el sistema de detección de interferencias pudiera identificar conflictos entre el trazado del alimentador y las estructuras existentes. El caso más significativo que reveló este modelado fue la ubicación proyectada del poste para el armado ATBV3: al representar simultáneamente el armado con su sistema de retenida en Y y el volumen del Centro de Salud, quedó en evidencia que la retenida necesitaba un espacio de un metro setenta centímetros que se superponía con el predio de la institución de salud.

Sin el modelado del contexto, esta incompatibilidad solo habría sido detectada en campo, una vez que los trabajadores intentaran instalar el armado. Con el modelo BIM, el equipo replanteo la ubicación del poste antes de emitir los planos de construcción, evitando un conflicto que habría involucrado tramitaciones legales, modificaciones contractuales y demoras significativas en el cronograma.

Verificación de distancias de seguridad normativas

Con el trazado del alimentador y el entorno urbano representados en el mismo modelo, el coordinador BIM utilizó las herramientas de acotación de Revit para verificar sistemáticamente las distancias de seguridad exigidas por el Código Nacional de Electricidad. Se revisaron las separaciones verticales de los conductores respecto al nivel de pista en cada vano, las distancias horizontales a las fachadas de edificaciones en los tramos donde el alimentador pasaba por calles con frente construido y las separaciones entre fases en cada armado.

El proceso de verificación fue metódico: el coordinador creó una vista de sección transversal en cada poste y revisó visualmente las cotas. Cuando alguna medida resultaba inferior al mínimo normativo, se ajustaba la altura del conductor o la posición del armado directamente en el modelo, y Revit actualizaba automáticamente todas las vistas afectadas por ese cambio.

Este ciclo de verificación y ajuste fue muy ágil comparado con el proceso manual de los proyectos 2D, donde cada modificación requería actualizar manualmente cada plano afectado.

Estructura del equipo BIM y roles asignados

La implementación de la metodología BIM requirió que el equipo adoptara una estructura de roles claramente definida. El coordinador BIM asumió la supervisión general del modelo, la gestión del CDE y la resolución de conflictos entre disciplinas. Fue el responsable de ejecutar las sesiones de detección de interferencias en Navisworks y de comunicar los resultados al resto del equipo junto con las instrucciones de corrección.

El especialista en armados eléctricos tuvo a su cargo el modelado de todos los componentes de la red aérea, incluyendo postes, armados, aisladores, conductores y equipos de protección. Su coordinación permanente con el coordinador garantizó que las decisiones técnicas adoptadas en el modelado respetaran tanto las normas eléctricas como las restricciones espaciales del sitio.

El especialista en ferretería fue responsable del modelado de los herrajes, retenidas y componentes de sujeción menores. Su trabajo fue determinante para que el modelo incluyera la totalidad de las piezas de ferretería —pernos, tuercas, arandelas, espigas— que en el diseño 2D habían sido omitidas o descritas de forma genérica. El asistente BIM apoyó la integración del contexto topográfico y urbano, y colaboró en las tareas de control de calidad y documentación del proceso.

Flujo de trabajo colaborativo y control de versiones

El trabajo simultáneo de varios especialistas sobre el mismo modelo fue posible gracias a la funcionalidad de trabajo compartido (Worksharing) de Revit. Cada integrante del equipo trabajó sobre una copia local del modelo central, realizando cambios en su área de responsabilidad y sincronizando con el archivo central cada vez que necesitaba incorporar las actualizaciones de sus compañeros o publicar sus propios avances.

Este mecanismo de sincronización garantizó que todos los integrantes del equipo vieran siempre la versión más reciente del modelo, eliminando el riesgo de trabajar sobre información desactualizada. Las reuniones de coordinación, que anteriormente consumían cuatro horas semanales en revisiones de planos impresos, se redujeron a sesiones de dos horas y media centradas en la navegación compartida del modelo tridimensional, donde los problemas podían identificarse, discutirse y resolverse en tiempo real con todos los especialistas visualizando el mismo objeto.

DETECCIÓN DE INTERFERENCIAS CON AUTODESK NAVISWORKS

Exportación del modelo y configuración del entorno de coordinación

Una vez que el modelo en Revit alcanzó un nivel de desarrollo suficiente para representar todos los componentes principales del alimentador y el contexto urbano, el coordinador BIM procedió a exportarlo al formato NWC (Navisworks Cache), que es el formato nativo de Navisworks y permite una navegación fluida en modelos de gran tamaño. Adicionalmente, exportó el modelo en formato IFC para garantizar la interoperabilidad con otras plataformas y para el registro oficial del proyecto.

En Navisworks, el coordinador creó un archivo de coordinación federado que combinaba el modelo eléctrico del alimentador con el modelo topográfico del terreno y los volúmenes del contexto urbano. La federación de modelos es una característica fundamental de la coordinación BIM: permite que cada disciplina mantenga su propio archivo de trabajo mientras los modelos se superponen en un entorno único de revisión, sin que ningún especialista pueda modificar accidentalmente el trabajo de otro.

Configuración y ejecución del Clash Detective

La herramienta Clash Detective de Navisworks permite definir reglas de detección de interferencias entre conjuntos de elementos del modelo. El coordinador configuró cuatro tipos de pruebas de interferencia: en primer lugar, pruebas de interferencia dura entre todos los

elementos eléctricos y las estructuras del contexto urbano, para identificar colisiones físicas directas; en segundo lugar, pruebas de interferencia blanda entre los conductores y cualquier elemento a una distancia inferior a las distancias mínimas de seguridad normativas; en tercer lugar, pruebas entre los elementos de la red subterránea y la topografía del terreno; y finalmente, pruebas de interferencia entre los sistemas de puesta a tierra y las canalizaciones de la red subterránea.

Una vez configuradas las pruebas, Navisworks ejecutó el análisis de forma automática y generó un informe con la totalidad de los conflictos detectados. El equipo registró dieciocho interferencias en la primera ejecución del análisis, que fueron clasificadas en tres patrones principales según los elementos involucrados.

Análisis y resolución de interferencias detectadas

El coordinador BIM revisó cada interferencia en detalle, utilizando la capacidad de Navisworks para resaltar los elementos conflictivos y visualizarlos desde múltiples ángulos. Las interferencias se clasificaron según su tipo y urgencia: las colisiones físicas directas (interferencias duras) se marcaron como críticas y se enviaron al especialista responsable de cada elemento para su corrección inmediata; las interferencias de distancia de seguridad (interferencias blandas) se evaluaron individualmente, dado que en algunos casos respondían a condiciones de montaje aceptables según criterio técnico.

La interferencia de mayor magnitud detectada involucró una tubería flexible y un cristal moldeado, con una penetración de veintisiete milímetros. Tras el análisis técnico, el equipo determinó que esta interferencia era admisible dado el sistema de fijación previsto, y la marcó como aprobada en el registro de Navisworks. Las interferencias entre tuberías y elementos de ferretería, con penetraciones de entre siete y catorce milímetros, fueron corregidas mediante el ajuste de trayectorias en el modelo Revit, con posterior sincronización al modelo central.

De los dieciocho conflictos detectados en la primera ejecución, doce fueron resueltos mediante correcciones en el modelo, cuatro fueron aprobados tras análisis técnico y dos permanecieron

en revisión para decisión de la supervisión del proyecto. Esta resolución del ochenta y cuatro por ciento de los conflictos en la fase de diseño representó una mejora sustancial respecto al escenario habitual, donde la mayoría de estas incompatibilidades solo se descubren durante la ejecución en campo.

Documentación de resultados y comunicación al equipo

Navisworks permitió generar informes detallados de cada interferencia detectada, incluyendo imágenes del conflicto, identificadores de los elementos involucrados, coordenadas exactas de la ubicación y estado de resolución. Estos informes fueron compartidos a través del CDE con los especialistas responsables de cada disciplina, quienes podían acceder a la información contextualizada sin necesidad de navegar por la totalidad del modelo.

Una vez resueltas las interferencias en el modelo Revit, el coordinador ejecutó nuevamente el análisis en Navisworks para confirmar que las correcciones habían eliminado los conflictos. Este ciclo de análisis, corrección y verificación se repitió hasta que el modelo alcanzó un estado de coordinación aceptable para la emisión de los planos de construcción.

EXTRACCIÓN AUTOMATIZADA DE METRADOS Y APLICACIÓN BIM 5D

Configuración de las tablas de planificación en Revit

Una de las ventajas más inmediatas y tangibles del modelado BIM es la capacidad de extraer automáticamente cantidades de cualquier elemento representado en el modelo. En Revit, esta función se realiza mediante las tablas de planificación (Schedules), que son vistas especiales del modelo que muestran los atributos de los elementos en formato de tabla, sin necesidad de contar ni medir manualmente.

El coordinador BIM configuró tablas de planificación independientes para cada categoría de elementos del proyecto: postes, armados, aisladores, conductores, equipos de protección, ferretería menor y componentes de la red subterránea. Para cada tabla, seleccionó los campos

a mostrar: el nombre del tipo, la cantidad de instancias, los parámetros dimensionales relevantes y cualquier atributo técnico que debiera aparecer en el presupuesto. Las tablas se configuraron con agrupaciones y subtotales automáticos, de modo que el resumen de cantidades por categoría fuera inmediato.

Extracción de metrados de conductores y cables

El cálculo de la longitud de los conductores fue uno de los aspectos donde la metodología BIM demostró con mayor claridad su superioridad sobre el método tradicional. En los planos 2D, la longitud de los conductores se estimaba sumando las distancias horizontales entre postes y añadiendo un porcentaje de holgura para contemplar la flecha de catenaria y los empalmes. Este método, inherentemente impreciso, tendía a sobreestimar las longitudes de manera sistemática.

En el modelo BIM, los conductores seguían la trayectoria real del trazado, incluyendo los cambios de dirección en los postes de anclaje y las curvas de transición. Revit calculaba automáticamente la longitud de cada segmento de conductor y la acumulaba en la tabla de planificación correspondiente. El resultado fue que la longitud real del conductor AAAC de treinta y cinco milímetros cuadrados, según el modelo BIM, resultó ser de setecientos veinte metros, frente a los ochocientos cincuenta metros estimados en el diseño 2D, una diferencia del quince por ciento que se traducía directamente en un ajuste significativo del presupuesto.

Cuantificación de ferretería y componentes menores

La extracción de cantidades de ferretería fue quizás el beneficio más revelador del proceso. En el diseño 2D, los elementos de ferretería menor —pernos maquinados, tuercas hexagonales, arandelas planas y de presión, espigas roscadas para cruceta— no aparecían explícitamente en los planos ni en las listas de materiales, o bien se describían de forma genérica sin indicar cantidades exactas. Este vacío de información era la principal causa de compras de emergencia durante la construcción.

En el modelo BIM, dado que cada perno y cada tuerca habían sido modelados como elementos individuales dentro de las familias de armados, Revit podía contarlos automáticamente y listarlos en las tablas de planificación. La tabla de ferretería menor del proyecto reveló que los ciento cincuenta y seis pernos maquinados de distintos tipos, los trescientos doce elementos de tuerca y arandela, y los distintos tipos de espigas y conectores sumaban una cantidad muy superior a la que había sido considerada en el presupuesto original. Este hallazgo, detectado en la fase de diseño, permitió que el área de compras pudiera elaborar una orden de adquisición completa y precisa antes del inicio de la construcción.

Generación del presupuesto comparativo

Con las tablas de planificación completas, el coordinador BIM exportó los metrados en formato Excel y los vinculó con la lista de precios unitarios del proyecto. La comparación entre el presupuesto elaborado con los metrados 2D y el presupuesto generado a partir del modelo BIM reveló diferencias en todas las partidas principales: los conductores y cables mostraban sobreestimaciones por encima del quince por ciento, los equipos de protección presentaban omisiones de unidades no contempladas, y la ferretería menor mostraba las divergencias más dramáticas, con diferencias de hasta el cuarenta por ciento entre lo presupuestado y lo realmente necesario.

GENERACIÓN DE DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DESDE EL MODELO

Producción de planos desde vistas del modelo

Una de las ventajas frecuentemente subestimadas de Revit es que los planos no se dibujan: se generan automáticamente a partir del modelo tridimensional. El equipo configuró vistas de planta, de alzado, secciones transversales y perspectivas isométricas del modelo, y luego las arrastró a hojas de planos predefinidas con el membrete oficial del proyecto.

Cuando se realizó alguna modificación en el modelo —por ejemplo, reubicar un poste o cambiar el tipo de aislador en un armado específico— todos los planos que contenían vistas de

esa zona se actualizaron automáticamente sin ninguna intervención adicional. Este comportamiento eliminó por completo el problema de la inconsistencia documental, que en los proyectos 2D obliga a actualizar manualmente cada plano afectado por un cambio, con el riesgo latente de omitir alguno.

Etiquetado automático de elementos

Revit permite asignar etiquetas automáticas a los elementos del modelo, que muestran en los planos los valores de los parámetros seleccionados. El equipo configuró etiquetas para los postes —que mostraban el código del tipo y la cota de terreno— y para los armados —que indicaban el tipo de configuración y el número de ítem según el presupuesto—. Estas etiquetas se actualizaban automáticamente cuando se modificaba cualquier parámetro del elemento etiquetado, garantizando que la información en los planos siempre coincidiera con los datos del modelo.

Verificación normativa integrada en el modelo

El coordinador BIM configuró en Revit reglas de verificación basadas en parámetros: si la altura libre de un conductor sobre la calzada resultaba inferior al mínimo normativo, el sistema marcaba el elemento con un color de advertencia visible en todas las vistas. Esta verificación automática redujo drásticamente el tiempo dedicado a la revisión normativa, que en el método 2D requería medir y calcular manualmente en cada plano.

Las normas verificadas automáticamente incluyeron las distancias de seguridad del artículo 232.C del Código Nacional de Electricidad para conductores aéreos, las profundidades mínimas de la red subterránea según el artículo 250.A, las distancias de seguridad internas de la subestación según el artículo 270.F y los requerimientos de la norma IEC 61936 para instalaciones de alta tensión. Los resultados de esta verificación quedaron registrados en una tabla de planificación específica que el coordinador incluyó en el expediente técnico como constancia del cumplimiento normativo” (Guía de Metodología BIM).