

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



TESIS

Optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales aplicando metodología BIM

Para obtener el título profesional de Ingeniero Electricista.

Elaborado por

Jaime Daniel Uculmana Lema

 [0009-0000-2799-9836](https://orcid.org/0009-0000-2799-9836)

Asesor

MSc. Ing. Alfredo Rocha Jara

 [0000-0003-0006-9684](https://orcid.org/0000-0003-0006-9684)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Uculmana Lema [1]
Referencia/Reference	[1] J. Uculmana Lema, <i>“Optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales aplicando metodología BIM”</i> [Tesis]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Uculmana, 2025)
Referencia/Reference	Uculmana, J. (2025). <i>Optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales aplicando metodología BIM</i> . [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mi abuelo Victor Constantino Uculmana Vega que, aunque no esté presente físicamente,
siempre lo llevo en mi corazón y me acompaña en cada momento.*

Agradecimientos

Mi más sincero y profundo agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Nacional de Ingeniería, por la sólida formación académica impartida, cuyo rigor y excelencia han sido fundamentales en el desarrollo de mis competencias profesionales, brindándome las bases técnicas y científicas necesarias para mi desempeño en el ámbito de la ingeniería.

A mi asesor, MSc. Ing. Alfredo Rocha Jara por su invaluable y constante apoyo a lo largo del desarrollo de la presente tesis.

A mi profesor especialista, Mag. Ing. Carlos Alberto Huayllasco Montalva por sus valiosos comentarios que ayudaron a complementar y finalizar la presente tesis.

A mi profesor revisor de formato, Mag. Ing. Estanislao Ubaldo Rosado Aguirre por su soporte brindado para la consolidación de la presente tesis.

A mi madre, Bertha Luisa Lema Arce por estar siempre presente durante mi formación profesional brindándome su soporte constante en cada fase de mi vida.

Finalmente agradezco profundamente a mí mismo por la dedicación, esfuerzo y perseverancia que me han permitido culminar esta tesis, y a todos que de una u otra forma contribuyeron en mi formación profesional y personal.

Resumen

Actualmente para el diseño de instalaciones eléctricas se viene utilizando metodologías tradicionales, las cuales carecen de comunicación directa con las demás disciplinas involucradas en un proyecto, esto podría solucionarse en gran medida utilizando la metodología BIM, es así que el propósito del presente estudio consisten en optimizar el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión utilizando la metodología BIM, centrándose en los departamentos y servicios generales de un conjunto residencial.

La meta principal consiste en utilizar las habilidades de la metodología BIM para vencer las restricciones de los métodos convencionales basados en CAD 2D y hojas de cálculo, consiguiendo un diseño más óptimo y preciso. La selección de la metodología BIM se basa en su habilidad para fusionar diversas disciplinas, llevar a cabo simulaciones sofisticadas y asegurar un diseño más colaborativo.

La presente investigación empleó una metodología aplicada, desarrollando modelos tridimensionales mediante metodología BIM con el propósito de optimizar la selección y el diseño de los alimentadores eléctricos. Se efectuaron simulaciones con el fin de evaluar diversas alternativas de diseño, Asimismo, se realizó un estudio comparativo entre la metodología BIM y la metodología tradicional identificando beneficios evidentes en cuanto a tiempo y precisión. La principal herramienta utilizada fue el software de Autodesk Revit, incorporando funcionalidades de detección de colisiones, gestión colaborativa y simulación de cargas eléctricas.

Palabras clave – Metodología BIM, metodología tradicional, alimentadores eléctricos, baja tensión, Autodesk Revit.

Abstract

Currently for the design of electrical installations traditional methodologies are being used, which lack direct communication with the other disciplines involved in a project, this could be solved to a large extent using the BIM methodology, so the purpose of this study is to optimize the design of low voltage electrical feeders using the BIM methodology, focusing on the apartments and general services of a residential complex.

The main goal is to use the abilities of the BIM methodology to overcome the restrictions of conventional methods based on 2D CAD and spreadsheets, achieving a more optimal and accurate design. The selection of BIM methodology is based on its ability to merge various disciplines, perform sophisticated simulations and ensure a more collaborative design.

The present research employed an applied methodology, developing three-dimensional models using BIM methodology for the purpose of optimizing the selection and design of electrical feeders. Simulations were carried out in order to evaluate various design alternatives. A comparative study between BIM methodology and traditional methodology was also carried out, identifying clear benefits in terms of time and accuracy. The main tool used was Autodesk Revit software, incorporating collision detection, collaborative management and electrical load simulation functionalities.

Keywords - BIM methodology, traditional methodology, electrical feeders, low voltage, Autodesk Revit.

Tabla de contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
1. Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Descripción del problema de investigación	2
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos del estudio	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.3.3. Justificación	4
1.4. Antecedentes investigativos	5
1.4.1. Antecedentes internacionales	5
1.4.2. Antecedentes nacionales	7
1.5. Hipótesis.....	11

1.5.1.	Hipótesis general.....	11
1.5.2.	Hipótesis específicas	12
1.5.3.	Operacionalización de las variables	13
2.	Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	14
2.1.	Marco teórico.....	14
2.1.1.	Alimentadores eléctricos en baja tensión.....	14
2.1.2.	Tecnología BIM.....	20
2.1.3.	Optimización del diseño de alimentadores eléctricos	35
2.1.4.	Aplicación del modelo BIM en Latinoamérica	44
2.1.5.	Aplicación del modelo BIM en Perú.....	47
2.2.	Marco conceptual	49
2.2.1.	Introducción a la metodología BIM	49
2.2.2.	Alimentadores eléctricos en baja tensión.....	49
2.2.3.	Comparación entre la metodología tradicional y la metodología BIM.....	50
2.2.4.	Beneficios de la implementación de la metodología BIM	51
3.	Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	53
3.1.	Metodología de la investigación	53
3.1.1.	Tipo y diseño de la investigación	53
3.1.2.	Unidad de análisis	53

3.1.3.	Matriz de consistencia	55
3.2.	Parámetros de diseño	57
3.2.1.	Ubicación geográfica del proyecto.....	57
3.2.2.	Características del proyecto.....	57
3.3.	Distribución de tableros eléctricos	59
3.4.	Metodología tradicional.....	60
3.4.1.	Diseño de alimentadores eléctricos.....	60
3.4.2.	Metrado bajo metodología tradicional.....	69
3.5.	Metodología BIM	71
3.5.1.	Pasos previos.....	71
3.5.2.	Configuración eléctrica general	73
3.5.3.	Modelado de banco de medidores.....	76
3.5.4.	Modelado de tableros eléctricos	77
3.5.5.	Modelado de sistemas de distribución.....	79
3.5.6.	Modelado de recorrido de alimentadores.....	80
3.5.7.	Metrado bajo metodología BIM	83
3.5.8.	Detección de interferencias	85
4.	Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....	89
4.1.	Análisis de los resultados	89

4.1.1.	Análisis en el diseño.....	91
4.1.2.	Análisis del costo directo	92
4.1.3.	Análisis detección de interferencias	93
4.2.	Contrastación de la hipótesis	95
Conclusiones		97
Recomendaciones		99
Referencias bibliográficas.....		101
Anexos		106

Lista de tablas

Tabla 1: Matriz de operacionalización de variables	13
Tabla 2: Niveles de desarrollo de un modelo BIM.	27
Tabla 3:Comparativa entre normativas locales e internacionales	43
Tabla 4: Matriz de consistencia	55
Tabla 5: Cuadro de áreas del Conjunto Residencial	58
Tabla 6: Cuadro de cargas de 01 tablero eléctrico de departamento.....	61
Tabla 7: Cuadro de cargas de 01 tablero eléctrico de servicios generales	61
Tabla 8: Metrado bajo metodología BIM	84
Tabla 9: Interferencias detectadas entre el modelo eléctrico y el modelo arquitectónico	86
Tabla 10: Interferencias detectadas entre el modelo eléctrico y el modelo estructural	87
Tabla 11: Comparativa de resultados obtenidos en la selección de alimentadores eléctricos en baja tensión.....	92
Tabla 12: Comparativa de resultados obtenidos en la estimación del costo directo asociado a los alimentadores eléctricos en baja tensión	93

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Dimensiones BIM	23
Ilustración 2: Aplicación del modelo BIM en Latinoamérica	46
Ilustración 3: Hitos del Plan BIM Perú.....	47
Ilustración 4: Vivienda de interés social (VIS) priorizada	54
Ilustración 5: Ubicación geográfica del Conjunto Residencial	57
Ilustración 6: Vista planta del Conjunto Residencial	59
Ilustración 7: Caída de tensión máxima permitida en un circuito	63
Ilustración 8: Metrado bajo metodología tradicional	70
Ilustración 9: Generación de nuevo proyecto en Autodesk Revit 2025.....	72
Ilustración 10: Modelo base de arquitectura y estructuras.....	73
Ilustración 11: Configurando “Electrical Settings – Voltage Definitions”	74
Ilustración 12: Configurando “Electrical Settings – Distribution Systems”	74
Ilustración 13: Configurando “Electrical Settings – Wiring”	75
Ilustración 14: Configurando “Electrical Settings – Wiring Types”	76
Ilustración 15: Vista 3D de pasaje de Banco de Medidores.....	77
Ilustración 16: Configurando "Properties" de la familia de tablero eléctrico monofásico	77
Ilustración 17: Vista 3D de familia de tablero eléctrico monofásico	78
Ilustración 18: Configurando "Properties" de la familia de tablero eléctrico trifásico	78
Ilustración 19: Vista 3D de familia de tablero eléctrico trifásico	79
Ilustración 20: Barra de herramientas "Electrical Equipment"	79

Ilustración 21: Vista de panel de navegación “System Browser”	80
Ilustración 22: Barra de herramientas "Electrical Circuits"	81
Ilustración 23: Ruta de alimentador de departamento	82
Ilustración 24: Vista de “Electrical Circuit Schedule”	83
Ilustración 25: Ciclo de la metodología BIM en proyectos inmobiliarios	90

Introducción

La presente tesis tiene como objetivo principal aplicar la metodología BIM para optimizar el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.

El Capítulo I se dedica a establecer el marco fundamental del estudio, delineando con precisión el problema general y sus componentes específicos, formulando los objetivos que guiarán la investigación tanto a nivel global como detallado, y proponiendo las hipótesis, tanto generales como particulares, que se pondrán a prueba. Además, se define cómo se medirán las variables clave del estudio, las dependientes e independientes, asegurando así una estructura clara y metodológica para el análisis subsiguiente.

El Capítulo II reúne los fundamentos técnicos esenciales. Se describen los componentes principales de una instalación eléctrica, como conductores y tableros de distribución. Se detallan los principios de cálculo de la máxima demanda incluyendo el cálculo y selección de alimentadores en baja tensión, considerando normativas vigentes. Además, se comparan la metodología tradicional de diseño y el enfoque basado en la metodología BIM, resaltando sus ventajas, limitaciones y aplicaciones en proyectos eléctricos. Este capítulo sienta las bases teóricas necesarias para el desarrollo de la tesis.

El Capítulo III desarrolla la metodología de investigación, definiendo el tipo de estudio, la unidad de análisis y los criterios de evaluación. Se establecen los parámetros de diseño y los procedimientos empleados en la distribución y dimensionamiento de componentes eléctricos, proporcionando una base para la aplicación y comparación de las metodologías de diseño tradicional y la metodología BIM.

El Capítulo IV se centra en el análisis comparativo de los resultados obtenidos al aplicar tanto la metodología tradicional como la metodología BIM. Se realiza una evaluación exhaustiva, que abarca la comparación de los cálculos y la selección de alimentadores, la estimación de los costos directos en

función a los metrados y la identificación de posibles conflictos con las especialidades de estructuras y arquitectura. Finalmente, se presentan las conclusiones derivadas del estudio, destacando las ventajas que ofrece la metodología BIM en el diseño de alimentadores eléctricos de baja tensión y proponiendo recomendaciones para mejorar la precisión y eficiencia en proyectos de conjuntos residenciales.

1. Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1. Generalidades

El diseño eficiente y sostenible de alimentadores eléctricos en baja tensión representa un desafío fundamental en el desarrollo de conjuntos residenciales modernos. Tradicionalmente, estos diseños se han basado en metodologías convencionales como el uso de herramientas CAD en 2D, la mayoría han sido adoptadas ampliamente por los profesionales del rubro, presentan limitaciones significativas en cuanto a precisión, detección de conflictos y capacidad de integrarse entre las distintas disciplinas dentro del proyecto. Estas deficiencias pueden producir errores costosos durante la construcción. En este contexto la implementación de BIM, emerge como una solución innovadora que transforma los procesos de diseño y construcción, ofreciendo un enfoque colaborativo y multidimensional.

La metodología BIM permite superar las limitaciones de los métodos tradicionales al proporcionar un modelo multidimensional que integra todos los aspectos del diseño eléctrico, con herramientas como Revit y Navisworks, es posible realizar simulaciones avanzadas, análisis de carga eléctrica y detección de interferencias, lo que resulta en diseños más precisos y económicos. La capacidad de BIM para integrar múltiples disciplinas y optimizar la planificación reduce costos, mejora la calidad del proyecto, garantizando un cumplimiento riguroso de las normativas locales e internacionales. Además, que el enfoque colaborativo fomenta la comunicación entre equipos de trabajo, lo que en la práctica se vuelve esencial en proyectos complejos como los conjuntos residenciales.

La centralización de información y la actualización en tiempo real aseguran que todos los involucrados dispongan de datos precisos para tomar decisiones informadas, esto permite anticipar y resolver problemas durante las fases tempranas del diseño, minimizando retrasos y optimizando los resultados del proyecto. En Latinoamérica la adopción de BIM ha comenzado a cobrar relevancia en la

última década, con países como Brasil, México y Perú, liderando iniciativas para incorporar esta metodología en proyectos de infraestructura y vivienda, destacando sus beneficios en términos de eficiencia, sostenibilidad y transparencia, esta tendencia refleja la evolución hacia practicas constructivas más modernas y competitivas a nivel global.

El presente trabajo se centra en la optimización del diseño de alimentadores eléctricos de baja tensión en departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales mediante la metodología BIM, a través de un enfoque aplicado, se desarrollan modelos multidimensionales que permiten evaluar y comparar alternativas de diseño, dimensionar conductores eléctricos con mayor precisión y cuantificar los beneficios económicos y operativos de esta metodología frente a las prácticas tradicionales.

La investigación aquí presentada busca consolidar la relevancia de BIM como herramienta esencial en el desarrollo de proyectos residenciales, promoviendo un cambio paradigmático hacia una construcción más eficiente, sostenible y colaborativa.

1.2. Descripción del problema de investigación

Actualmente, en proyectos de construcción privados, se ha implementado la metodología BIM paulatinamente, predominando en proyectos de edificaciones. No obstante, disciplinas como instalaciones (eléctrica, sanitaria, mecánica, gas, etc.) inician sus diseños con CAD 2D, migrando luego a 3D. Esta transición, sin una adopción completa de BIM, limita el potencial de esta metodología.

En la etapa preliminar del diseño de una edificación, las áreas de arquitectura y seguridad sientan los cimientos del proyecto. Históricamente, estas áreas han proporcionado el esquema conceptual y la información primaria para que las especialidades de ingeniería eléctrica, como las instalaciones eléctricas, puedan dar comienzo al diseño de sus trabajos empleando software CAD como AutoCAD en sus proyectos. Los planos de seguridad, confeccionados durante las fases iniciales del proyecto, contienen datos cruciales sobre la ubicación de cada componente eléctrico fundamental, como cuadros de distribución, conjuntos

de control de motores y luces de emergencia, sirviendo como referencia esencial para el desarrollo de los proyectos eléctricos.

Si bien AutoCAD ha sido el estándar en la industria de la construcción durante años, su enfoque bidimensional presenta limitaciones. La llegada de BIM y software como Revit ha revolucionado la forma en que diseñamos, permitiéndonos trabajar en un entorno tridimensional. Esta nueva perspectiva nos brinda una precisión sin precedentes en la cuantificación de materiales, especialmente en proyectos residenciales de gran envergadura como las edificaciones multifamiliares. La información detallada y precisa que se obtiene de estos modelos tridimensionales es un pilar fundamental para diseñar proyectos de ingeniería eléctrica de baja tensión, o de otras especialidades.

1.2.1. Problema general

¿En qué medida la aplicación de la metodología BIM optimiza el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales?.

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿En qué medida la aplicación de la metodología BIM mejora el dimensionamiento y selección de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales?
- b. ¿En qué medida la aplicación de la metodología BIM reduce los metrados de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales?
- c. ¿En qué medida la aplicación de la metodología BIM identifica de manera temprana las interferencias del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales?

1.3. Objetivos del estudio

1.3.1. Objetivo general

Aplicar la metodología BIM para optimizar el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Aplicar la metodología BIM para mejorar el dimensionamiento y selección de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.
- b. Aplicar la metodología BIM para reducir los metrados de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.
- c. Aplicar la metodología BIM para identificar de manera temprana las interferencias del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.

1.3.3. Justificación

Ante las restricciones que presentan las metodologías convencionales en proyectos de conjuntos residenciales, se plantea la siguiente interrogante: ¿En qué medida la aplicación de la metodología BIM optimiza el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales?.

La implementación de la metodología BIM nos proporcionará mediciones exactas de las longitudes de un circuito eléctrico de baja tensión que alimentan tanto los tableros de distribución de los departamentos como los tableros de servicios generales del edificio. Esto nos permitirá realizar cálculos

precisos para la selección de los conductores y dimensionar adecuadamente los circuitos, además de cuantificar con exactitud los materiales necesarios para la elaboración del presupuesto. Asimismo, la metodología BIM nos permitirá identificar de manera anticipada cualquier conflicto o interferencia con otras disciplinas, optimizando así el proceso constructivo.

1.4. Antecedentes investigativos

Mediante el Decreto Supremo N° 237-2019-EF (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019), se publicó el Plan Nacional de Competitividad y Productividad, en el cual se determinó una trayectoria para la adopción progresiva del modelo BIM en las iniciativas públicas a nivel nacional. Con posterioridad, a finales del mismo año, mediante el Decreto Supremo N° 289-2019-EF (Diario El Peruano, 2019) se establecieron las pautas oficiales para la implementación gradual de la metodología BIM en los proyectos de inversión del sector público, definiendo así el marco normativo que regirá su aplicación en las iniciativas de capital estatal. Con la ratificación del Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021), se estableció un acontecimiento crucial en este procedimiento.

Se estima que para el año 2025 todas las instituciones públicas hayan incorporado BIM, mientras que para el 2030 se prevé que su utilización sea obligatoria para ambas esferas (iniciativas públicas y privadas), en todas las obras de infraestructura.

1.4.1. Antecedentes internacionales

(Pérez González, 2019), en su tesis con título “POSIBILIDADES DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA INGENIERÍA CIVIL”, revela un panorama prometedor y desafiante en España. Si bien el marco legal impulsa su adopción en proyectos públicos, la implementación efectiva aún enfrenta obstáculos como la escasez de profesionales capacitados y la necesidad de adaptar los procesos de trabajo tradicionales. No obstante, los beneficios potenciales son significativos, especialmente en la optimización de recursos, la detección temprana de errores y la mejora de la colaboración multidisciplinaria. La aplicación de BIM en la fase de

diseño de infraestructura, ofrece la oportunidad de crear modelos digitales detallados y precisos que permiten simular y analizar diferentes escenarios antes de la construcción. Al integrar información de diversas disciplinas (arquitectura, ingeniería, construcción, etc.), la metodología BIM facilita la toma de decisiones y reduce significativamente la posibilidad de errores durante la fase de ejecución del proyecto. Adicionalmente, la capacidad de generar documentación actualizada de forma automática y de realizar un seguimiento integral del ciclo de vida de la infraestructura, ofrece una ventaja competitiva clave en un sector cada vez más demandante. En términos más sencillos, BIM ayuda a tomar mejores decisiones y a evitar errores en la construcción. Además, actualiza los documentos automáticamente y permite controlar todo el proceso de la obra, lo cual es muy útil en un mundo donde se exige cada vez más. Para aprovechar al máximo el potencial de BIM, es fundamental establecer una estrategia clara que abarque aspectos tecnológicos, organizativos y culturales. La formación continua del personal, la inversión en software y hardware adecuados, así como la asignación de responsabilidades y roles específicos son elementos primordiales para lograr el éxito de la implementación. Además, es imprescindible promover la cooperación entre empresas, universidades y organismos públicos para intercambiar saberes y vivencias, con el fin de agilizar la implementación de esta metodología en el rubro de la construcción. Por lo tanto, la metodología BIM se consolida como una herramienta estratégica para potenciar la eficiencia y la calidad en el diseño y construcción de infraestructuras. Pese a los retos iniciales, las ventajas a largo plazo son claras y respaldan completamente su implementación en el campo de la ingeniería.

(Hidalgo Alvarado & Marcillo Marcillo, 2018), en su tesis con título “ANÁLISIS DE CARGA EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES PARA VALORAR POSIBLES SOLUCIONES QUE PERMITAN CORREGIR EL SERVICIO ELÉCTRICO A LA COMUNIDAD JACAY”, realizada en la comunidad Jacay del cantón Tosagua evidenció la necesidad de tener una mejor calidad del servicio eléctrico en las instalaciones residenciales. Mediante cuestionarios y estudios de campo, se detectaron problemas habituales como el deterioro de los componentes eléctricos, un exceso en la necesidad de energía y la consecuente reducción

en la calidad del abastecimiento. Para tratar este asunto, se realizó un estudio minucioso de la carga eléctrica en las viviendas, lo que facilitó la determinación de la capacidad necesaria para los transformadores y sugirió soluciones técnicas para mejorar el sistema eléctrico. Cuyos resultados resaltan la importancia de realizar evaluaciones periódicas de las instalaciones eléctricas en comunidades rurales, a fin de identificar y corregir a tiempo las deficiencias que puedan comprometer la seguridad y la eficiencia energética. Además, resalta la importancia de sensibilizar a los usuarios acerca de la relevancia de un uso consciente de la energía eléctrica y de llevar a cabo un mantenimiento apropiado de las instalaciones. Los resultados de esta investigación pueden emplearse como base para futuros estudios relacionados con la optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para conjuntos residenciales. Al analizar casos específicos como el de la comunidad Jacay, es posible identificar patrones y tendencias que permitan desarrollar soluciones genéricas y aplicables a diferentes contextos. La metodología BIM, por ejemplo, puede ser una herramienta valiosa para modelar y simular diferentes escenarios de diseño, lo que permitiría evaluar el impacto de las distintas alternativas de solución antes de su implementación.

1.4.2. Antecedentes nacionales

(Mallqui Saravia, 2018), en su tesis con título “MEJORAMIENTO EN LA GESTIÓN DE UN PROYECTO DURANTE SU EJECUCIÓN, UTILIZANDO EL MODELO BIM”, aporta valiosos conocimientos para optimizar el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión en proyectos residenciales. En un contexto donde la construcción en Perú experimenta un crecimiento sostenido, impulsado tanto por la inversión pública como privada, el uso de metodologías innovadoras como BIM se revela como un factor clave para lograr una mejora en la calidad de los proyectos y su eficiencia. Donde, el caso de estudio de la "Nueva Sede Institucional del Banco de la Nación" demuestra de manera tangible los beneficios de implementar BIM en un proyecto de gran envergadura. Al emplear modelos tridimensionales y bases de datos integradas, se logró una visualización y coordinación más precisa de los diferentes elementos del proyecto, lo que permitió identificar y resolver conflictos de diseño en etapas tempranas, y como resultado, se redujeron

significativamente los costos asociados a modificaciones en obra, se optimizaron los procesos constructivos y se mejoró la calidad general del proyecto. Los hallazgos de este estudio son de gran relevancia para el sector de la construcción, ya que demuestran que la implementación de BIM no solo es factible en proyectos de gran escala, sino que también puede generar beneficios tangibles en proyectos de menor envergadura, como el diseño de alimentadores eléctricos en conjuntos residenciales. Al adoptar BIM, los profesionales del sector pueden mejorar la precisión de sus diseños, reducir el riesgo de errores y optimizar la gestión de los recursos, contribuyendo así a la construcción de proyectos más eficientes y sostenibles.

(Soto Abregu, 2020), en su tesis con título “IMPLEMENTACIÓN VISUAL DEL SISTEMA LAST PLANNER MEDIANTE EL MODELADO BIM EN LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO: CENTRO COMERCIAL LA ESTACIÓN”, aporta valiosos conocimientos sobre la optimización de procesos constructivos a través de la integración de metodologías Lean y BIM; aunque el estudio se centra en un proyecto de gran envergadura, como un centro comercial, sus hallazgos son altamente relevantes para la optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión en proyectos residenciales. Al emplear BIM en conjunto con el sistema Last Planner, los investigadores lograron una planificación y ejecución más eficientes del proyecto. La representación en 3D de los modelos BIM facilitó la identificación y resolución precoz de conflictos de diseño, disminuyendo de esta manera gastos y demoras. Además, la aplicación de instrumentos de análisis como la Carta Balance y la teoría del Valor Ganado simplificó la detección de obstáculos y la puesta en marcha de acciones correctivas, lo que resultó en un incremento notable en el desempeño de las tareas de construcción. La aplicación de estas metodologías en un proyecto de la magnitud del Centro Comercial La Estación demuestra que es posible obtener resultados tangibles en términos de aminorar los costos, mejora de la planificación y aumento de la productividad. Estos beneficios son igualmente aplicables a proyectos de menor escala, como el diseño de alimentadores eléctricos en conjuntos residenciales. Al adoptar BIM y metodologías Lean, los profesionales de la ingeniería eléctrica podrán optimizar la

planificación, ejecución y control de sus proyectos, asegurando una mejora en la calidad y generar una mejor eficiencia en los resultados finales.

(Rodriguez Guerra, 2024), en su tesis con título “ANÁLISIS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA TOMA DE DECISIONES MEDIANTE LA METODOLOGÍA BIM EN LA ETAPA DE EJECUCIÓN DEL HOSPITAL DE PANGO”, presenta un caso convincente para la aplicación de Building Information Modeling (BIM) en proyectos de construcción. Mediante el análisis de un proyecto de construcción de un hospital en Perú, el estudio demuestra cómo BIM puede mejorar significativamente la toma de decisiones, reducir costes y acelerar los plazos del proyecto. Los resultados revelan que la aplicación de BIM se tradujo en una reducción sustancial de las cantidades, los costes y la duración del proyecto en comparación con los métodos tradicionales. En concreto, el estudio detectó una reducción del 10,38% en las cantidades, del 18,69% en los costes y del 11,11% en el calendario del proyecto. Estos ahorros se atribuyeron a la capacidad de BIM para proporcionar información más precisa y detallada sobre el proyecto, lo que permitió mejorar la planificación, la coordinación y la asignación de recursos. La aplicación de BIM en el diseño de alimentadores eléctricos para complejos residenciales puede reportar beneficios similares. Al crear un gemelo digital del edificio, los ingenieros pueden modelar con precisión el sistema eléctrico, identificar posibles conflictos y optimizar la disposición de los alimentadores. Esto puede reducir gastos, potenciar la eficacia energética y potenciar la confiabilidad del sistema. Además, el BIM puede promover una colaboración más efectiva entre los involucrados en el proyecto, que incluyen arquitectos, ingenieros, contratistas y dueños. Al ofrecer una plataforma digital abierta, BIM tiene el potencial de potenciar la comunicación, disminuir los fallos y minimizar las repeticiones. Esto es especialmente importante en proyectos complejos, como complejos residenciales, en los que intervienen múltiples disciplinas y oficios.

(Turpo Anchapari, 2020), en su tesis con título “APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN LA ESTACIÓN SUBTERRÁNEA DE LA

LÍNEA 2 DEL METRO DE LIMA - 2020.”, realizada en la Universidad Privada del Norte evaluó el impacto de la metodología BIM en la gestión de interferencias durante la construcción de estaciones subterráneas de la Línea 2 del Metro de Lima. A través de un estudio de caso en cuatro estaciones, se identificó un número significativo de conflictos entre las especialidades estructural, arquitectónica y electromecánica (MEP) que, de no haberse detectado y solucionado a tiempo mediante BIM, habrían generado retrasos y costos adicionales en la obra. Los resultados evidenciaron que la implementación de BIM permitió detectar y resolver un gran porcentaje de las interferencias en las etapas iniciales del proyecto, optimizando así los procesos constructivos. Al disponer de un modelo digital tridimensional que incorpora datos de todas las disciplinas, se simplificó la detección de colisiones y la coordinación entre los distintos grupos laborales. Además, se demostró que la inversión en BIM representa un porcentaje mínimo del costo total del proyecto, pero genera un retorno significativo en términos de eficiencia y reducción de riesgos. Los hallazgos de esta investigación son altamente relevantes para la optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para conjuntos residenciales. Al aplicar BIM en esta tipología de proyectos, se pueden identificar y resolver anticipadamente las interferencias entre los sistemas eléctricos y las demás instalaciones, evitando así retrasos en la obra y asegurando una mayor calidad en la ejecución. Igualmente, BIM posibilita la creación de documentación exhaustiva y actualizada, simplificando la administración de proyectos y la comunicación entre los distintos participantes implicados. Así, la experiencia de la Línea 2 del Metro de Lima evidencia que la metodología BIM es un recurso útil para optimizar el rendimiento de los procesos de construcción y minimizar los riesgos vinculados a la realización de proyectos de infraestructura. Su aplicación en el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión puede contribuir a optimizar los procesos, mejorar la calidad de las instalaciones y reducir los costos.

(Villavicencio Gutiérrez, 2024), en su tesis con título “MEJORA DE LA GENERACIÓN DE POTENCIA DE UNA TURBINA EÓLICA BASADA EN EL DISEÑO DE UN ALGORITMO DE CONTROL DIFUSO Y EVOLUTIVO”, se centró en mejorar el rendimiento de una turbina eólica mediante el desarrollo de un controlador difuso

evolutivo para el control del ángulo de paso de las palas del rotor. A través de la modelización matemática y la simulación en software especializado, se comparó el desempeño de este controlador con los métodos tradicionales PID, demostrando una superioridad en términos de suavidad de la respuesta, estabilidad del sistema y rapidez en alcanzar el punto de operación óptimo; donde los resultados obtenidos indican que el controlador difuso evolutivo permite una extracción más eficiente de la energía del viento, adaptándose de manera más precisa a las variaciones en la velocidad del flujo. Al ajustar de forma continua el ángulo de las palas, se maximiza la captura de energía en condiciones de viento variable y se protege la turbina de sobrecargas. De tal forma, la aplicación de estas técnicas de control avanzado a sistemas eólicos puede contribuir a mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la generación de energía renovable. Si bien el estudio se enfoca en turbinas eólicas, los principios y metodologías desarrolladas pueden ser adaptados a otros sistemas de generación de energía, como los paneles solares, con el objetivo de optimizar su desempeño y contribuir a la transición hacia un futuro energético más sostenible. Aunque este estudio se centra en sistemas de generación de energía renovable a gran escala, sus hallazgos pueden ser relevantes para la optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para conjuntos residenciales. Al comprender mejor los mecanismos de control y optimización de sistemas energéticos, es posible diseñar soluciones más eficientes y resilientes para la distribución de energía en edificios y comunidades. Por ejemplo, la puesta en marcha de sistemas de administración inteligente de energía, fundamentados en algoritmos de control sofisticados, podría facilitar una integración más efectiva de fuentes de generación distribuida, como paneles solares o pequeñas turbinas eólicas, en los sistemas eléctricos de los proyectos.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación de la metodología BIM optimizará significativamente el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. La aplicación de la metodología BIM mejora significativamente el dimensionamiento y selección de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.
- b. La aplicación de la metodología BIM reduce significativamente los metros de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.
- c. La aplicación de la metodología permitirá identificar de manera temprana las interferencias del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.

1.5.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1: Matriz de operacionalización de variables

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Aplicación de la metodología BIM.	La metodología BIM (Building Information Modeling) es un enfoque digital para el diseño, construcción y gestión de proyectos que permite la integración y coordinación entre disciplinas mediante modelos tridimensionales inteligentes.	Aplicación de la metodología BIM en el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.	Uso de herramientas BIM en el diseño de alimentadores electricos en baja tensión.
Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.	La optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión implica la mejora en la selección de conductores, reducción de costos y detección temprana de interferencias mediante herramientas avanzadas que permiten un análisis más preciso.	Comparación del dimensionamiento y selección de alimentadores electricos en baja tensión.	Diferencias en la sección de alimentadores electricos en baja tensión entre la metodología tradicional y la metodología BIM.
		Estimación del costo directo de las partidas asociadas al presupuesto en función a los metros.	Diferencias en el costo directo de las partidas del presupuesto entre la metodología tradicional y la metodología BIM.
		Identificación temprana de interferencias con otras especialidades.	Cantidad de interferencias detectadas con los modelos de estructuras y arquitectura.

Fuente: Elaboración propia

2. Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1. Marco teórico

2.1.1. *Alimentadores eléctricos en baja tensión*

Los alimentadores eléctricos de baja tensión constituyen la columna vertebral de las instalaciones eléctricas en conjuntos residenciales, siendo responsables del transporte de energía eléctrica desde su origen principal hacia distintos puntos para su consumo, como departamentos y áreas comunes. Su diseño debe considerar una serie de factores importantes para asegurar que el suministro sea seguro, eficiente y confiable. Entre estos factores se incluyen: la carga eléctrica que se debe abastecer, el cumplimiento estricto de las normativas locales y nacionales aplicables de instalación, el acatamiento de medidas adecuadas para garantizar la protección del sistema de posibles fallos o sobrecargas, y la optimización del consumo energético para conseguir un sistema más eficiente. Todos estos aspectos son fundamentales para asegurar que la energía llegue de manera confiable y segura, y cumpla con los requisitos de calidad y continuidad establecidos.

- ✓ Carga Eléctrica: Los alimentadores deben ser diseñados con el tamaño adecuado para asegurar de que cada unidad de vivienda o servicio reciba la cantidad de energía que necesita sin sobrecargar el sistema eléctrico. Para lograr esto, es necesario realizar un análisis minucioso de la demanda energética de cada espacio, considerando no solo los electrodomésticos y sistemas de climatización, sino también la iluminación y otros equipos que se utilizan en común. Este enfoque detallado permite que el sistema sea capaz de abastecer todas las necesidades sin generar fallos o pérdidas de energía, garantizando un suministro eficiente y seguro para cada uno de los usuarios.

- ✓ **Distribución y Topología:** La forma en que los alimentadores se distribuyen dentro de un conjunto residencial es primordial para garantizar la confiabilidad y continuidad del suministro eléctrico. Las configuraciones más comunes incluyen alimentadores radiales o en anillo, dependiendo de la complejidad y las necesidades del conjunto.
- ✓ **Normativas Técnicas y Regulación:** La distribución de los alimentadores dentro de un conjunto residencial es un aspecto fundamental para asegurar que el suministro eléctrico sea constante y confiable. La forma en que se organizan los alimentadores influye directamente en la continuidad del servicio y en cómo se responden a posibles fallos. Los ajustes más comunes para esto son los alimentadores radiales y en anillo. En un sistema radial, la energía fluye en una sola dirección desde el punto de distribución, mientras que, en un sistema en anillo, la energía circula en un circuito cerrado, lo que proporciona mayor flexibilidad y confiabilidad en caso de interrupciones. La elección entre una u otra configuración dependerá de la complejidad del conjunto residencial y de las necesidades específicas de confiabilidad y mantenimiento de este.

Los tendidos eléctricos denominados alimentadores, particularmente aquellos que operan a baja tensión, ejecutan una función crucial en la diseminación de la energía eléctrica. Dichos circuitos tienen la encomienda de realizar la conducción de corriente desde las fuentes de origen, tales como los transformadores o los cuadros generales, hasta los puntos de consumo finales, como los tableros derivados que abastecen a los usuarios. Su configuración y operación adecuadas resultan indispensables para garantizar un suministro eléctrico seguro y eficiente.

El diseño de los alimentadores eléctricos en baja tensión va más allá de garantizar una distribución eficiente de la energía. Su objetivo principal es optimizar el flujo eléctrico, minimizando las pérdidas causadas por caídas de tensión y protegiendo el sistema contra posibles sobrecargas y cortocircuitos, así

como cumplir requerimientos determinados según las normas vigentes. De esta manera, se asegura la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico, evitando interrupciones y garantizando la continuidad del servicio a los usuarios.

2.1.1.1. Fundamentos normativos

Normativas internacionales, como la IEC 60364:2005 (International Electrotechnical Commission, 2005), proporcionan un esquema de referencia esencial para la configuración de instalaciones eléctricas, abarcando aspectos como el dimensionamiento apropiado de alimentadores y la selección precisa de dispositivos para protección. Dichos estándares suministran directrices minuciosas para calcular las secciones de cada conductor perteneciente a los alimentadores y pautas de protección adecuadas con el propósito de asegurar instalaciones eficientes y seguras. En Estados Unidos, la NFPA 70: National Electrical Code (NEC) (National Fire Protection Association., 2023) establecen los requerimientos específicos para garantizar la protección de las instalaciones eléctricas, complementando las directrices internacionales.

Normativa nacional, como el Código Nacional de Electricidad (C.N.E.): Utilización (Ministerio de Energía y Minas, 2006) establece las reglas para garantizar la protección de las instalaciones eléctricas de hasta 36,000 V, para tensiones superiores a esta se deben complementar con el Código Nacional de Electricidad: Suministro (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

2.1.1.2. Características técnicas de los alimentadores en baja tensión

- a. Tensión de operación: En los sistemas de baja tensión, los niveles de voltaje convencionales difieren según la región y se encuentran regulados por normativas internacionales. En Perú y gran parte de Latinoamérica, los sistemas más frecuentes son de 220/127 V para instalaciones monofásicas y 380/220 V para sistemas trifásicos. Estas magnitudes se ajustan a la normativa IEC 60038:2009 (International Electrotechnical Commission, 2009), que establece los niveles de tensión nominal que aseguran la

seguridad y la compatibilidad de las instalaciones eléctricas. 220/127 V (monofásico): Este sistema se emplea principalmente en instalaciones residenciales y pequeños comercios. La tensión de 220 V se localiza entre las dos fases, mientras que la tensión entre una fase y el neutro es de 127 V. Resulta apropiado para proveer energía a aparatos electrodomésticos, alumbrado y otros artefactos de empleo habitual.

- b. Capacidad de corriente: La aptitud de los alimentadores eléctricos se establece mediante diversos factores, como la potencia de las cargas conectadas, el coeficiente de demanda (la proporción promedio de carga que se prevé consumir en un lapso específico) y la concurrencia (la probabilidad de que todas las cargas conectadas operen simultáneamente). Con el fin de asegurar un funcionamiento sin riesgos, los conductores deben ser dimensionados considerando tanto el calentamiento admisible (para prevenir sobrecalentamientos peligrosos) como la facultad de conducción de corriente (para garantizar que los conductores puedan transportar la corriente requerida sin menoscabar la eficiencia ni comprometer la instalación).
- c. Conductores eléctricos: La selección de los materiales conductores en los sistemas eléctricos es fundamental para garantizar un desempeño óptimo y una larga vida útil. El cobre y el aluminio, reconocidos por su alta conductividad eléctrica, son los elementos mayormente empleados para fabricar conductores de electricidad. Estos conductores se recubren con aislamientos como el PVC (policloruro de vinilo) o el XLPE (polietileno reticulado) para protegerlos contra daños mecánicos y ambientales, como la humedad y las variaciones de temperatura. El tipo de aislamiento se selecciona según el nivel de temperatura y las condiciones del entorno de instalación, lo que asegura que los conductores sean seguros y duraderos.

- d. Protección contra fallas: Las medidas de protección contra posibles fallos de alimentadores es una prioridad en cualquier instalación. Para lograr este objetivo, es indispensable contar con instrumentos de protección como pulsadores termomagnéticos y diferenciales. Estos equipos de protección son esenciales para interrumpir el suministro eléctrico en caso de sobrecargas o cortocircuitos de manera automática, impidiendo daños, y deben cumplir con las normativas internacionales como la IEC 60947-2:2024 (International Electrotechnical Commission, 2024), la IEC 60898-1:20015 (International Electrotechnical Commission, 2015) y la NFPA 70: National Electrical Code (NEC) (National Fire Protection Association., 2023), las cuales establecen las pautas de seguridad para las instalaciones eléctricas.

2.1.1.3. Criterios de diseño

El diseño de un alimentador en baja tensión implica un análisis técnico que incluye los siguientes aspectos:

- a. Cálculo de la corriente nominal: La corriente nominal se calcula según las cargas conectadas y el tipo de sistema:

- ✓ La fórmula general para sistemas monofásicos es:

$$I_n = \frac{M.D.}{V * \cos \phi}$$

- ✓ La fórmula general para sistemas trifásicos es:

$$I_n = \frac{M.D.}{\sqrt{3} * V * \cos \phi}$$

Donde:

- I_n : Corriente nominal (A)

- M. D.: Máxima demanda calculada (W)
- V: Tensión (V)
- $\cos \phi$: Factor de potencia

- b. Selección del conductor: El calibre del conductor se selecciona de acuerdo con la capacidad de corriente, la longitud del alimentador y las limitaciones de caída de tensión, para ello se tiene como referencias las tablas proporcionadas por la IEC 60364 (International Electrotechnical Commission, 2005) o la NFPA 70: National Electrical Code (NEC) (National Fire Protection Association., 2023) son una referencia internacional utilizada para este proceso, además de las reglas y tablas estipuladas en el Código Nacional de Electricidad: Utilización (Ministerio de Energía y Minas, 2006).
- c. Caída de tensión: La disminución del voltaje a lo largo de un conductor no debe superar el 2.5% en los alimentadores principales. Esta reducción de potencial eléctrico se calcula mediante la expresión:

- ✓ La fórmula general para sistemas monofásicos es:

$$\Delta V = 2 * I_d * (R * \cos \phi + X * \sin \phi) * L$$

- ✓ La fórmula general para sistemas trifásicos es:

$$\Delta V = \sqrt{3} * I_d * (R * \cos \phi + X * \sin \phi) * L$$

Considerando que:

$$I_d = 1.25 * I_n$$

Donde:

- ΔV : Caída de tensión (V)

- I_n : Corriente nominal (A)
- I_d : Corriente de diseño (A)
- L : Longitud (m)
- $\cos \phi$: Factor de potencia
- R : Resistencia eléctrica (Ω/m)
- X : Reactancia eléctrica (Ω/m)

2.1.1.4. Aplicaciones practicas

Los alimentadores de baja tensión tienen un papel fundamental en la distribución de energía eléctrica, adaptándose a las diversas necesidades de los usuarios. En el ámbito doméstico, estos circuitos conectan los medidores de suministro eléctrico con los tableros eléctricos de distribución, garantizando así un flujo seguro y eficiente de energía hacia todos los puntos de consumo, como iluminación, electrodomésticos y demás dispositivos eléctricos y electrónicos.

2.1.1.5. Importancia en instalaciones eléctricas

La correcta implementación de alimentadores en baja tensión es esencial para garantizar

- ✓ Eficiencia energética: Minimización de pérdidas eléctricas.
- ✓ Seguridad operativa: Protección contra fallas y accidentes eléctricos.
- ✓ Cumplimiento normativo: Evitar sanciones o riesgos legales por instalaciones fuera de norma.

2.1.2. Tecnología BIM

A diferencia de los métodos tradicionales que solo emplean representaciones bidimensionales (2D), BIM no se limita a mostrar simplemente la geometría del proyecto. Va más allá al incluir datos detallados sobre los materiales, los costos, los plazos de ejecución y el rendimiento esperado del edificio o infraestructura. Esto brinda a los grupos de trabajo la posibilidad de visualizar cada elemento del proyecto.

Más allá de proporcionar una representación gráfica detallada del proyecto, BIM posibilita la realización de simulaciones exhaustivas bajo diferentes escenarios, optimizando así la planificación y facilitando la coordinación entre los diversos equipos de trabajo, lo que redundará en una mayor eficiencia en el desarrollo del proyecto.

El modelo BIM es mucho más que una visualización tridimensional, constituyendo un proceso integral que transforma la gestión de proyectos de este ámbito. Al integrar de manera colaborativa toda la información veraz y actualizada del proyecto durante todo el ciclo de utilidad de este, BIM: optimiza procesos, mejora eficiencia y garantiza sostenibilidad superior, y calidad final resultante.

2.1.2.1. Nacimiento del pensamiento BIM

Es probable que la primera de estas investigaciones fuera la realizada por Douglas C. Engelbart, en el auge de uso de las computadoras, nos proporciona una perspectiva única del campo. En su obra "Augmenting Human Intellect: A conceptual framework" (Desarrollando el intelecto humano: un marco teórico), su análisis se centra en que: *"...el futuro arquitecto comienza a ingresar una serie de especificaciones e información: un piso de losa de quince centímetros, 30 centímetros de muros de hormigón de dos metros de altura dentro de la excavación, y así sucesivamente. Una vez concluido, la escena revisada se muestra en la pantalla. Una edificación está tomando cuerpo. Se inspecciona, modifica... Estas listas se expanden a otra cada vez más minuciosa, la estructura interconectada, que representa la evolución del razonamiento detrás del diseño concreto..."* (Engelbart, 1962).

Engelbart plantea un enfoque basado en un diseño orientado a objetos, complementado con una gestión paramétrica que se sustenta en la estructuración de bases de datos relacionales. Además, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) desempeñan un papel relevante en este contexto, ya que proporcionan un marco teórico esencial para la integración de datos espaciales. Estos sistemas requieren de una interfaz visual que permita su conexión efectiva con el modelo digital de edificación, lo que constituye uno de los principios cruciales de los procesos BIM en la actualidad.

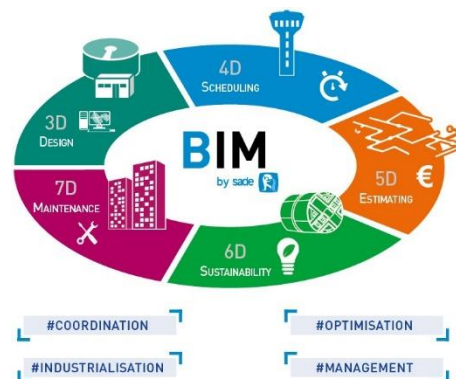
Con el desarrollo de la computación, se iniciaron los primeros estudios sobre la evolución de los procesos gráficos aplicados al diseño y la construcción, sentando los cimientos para la transformación digital en el rubro. Estos avances han permitido consolidar la aplicación de BIM como una metodología clave en el desarrollo de proyectos, facilitando la interoperabilidad entre disciplinas y optimizando la toma de decisiones en todas las fases del ciclo de vida de una edificación.

2.1.2.2. Características principales de BIM

- a. **Modelo Digital Integrado:** Un Modelo Digital de Construcción (BIM) es una base de datos dinámica que integra de manera coherente información geométrica, cuantitativa y cualitativa del proyecto, abarcando desde la concepción hasta la operación del edificio, incluyendo aspectos como materiales, costos, programación y funcionalidades.
- b. **BIM actúa como un puente digital** que conecta a las diversas disciplinas involucradas en un proyecto de edificaciones, desde arquitectos hasta ingenieros y contratistas, (MEP, construcción, entre otras). Esta integración de datos y procesos optimiza la comunicación, minimiza errores y agiliza la toma de decisiones, asegurando una ejecución más eficiente del proyecto.
- c. **Dimensiones de BIM:**

- ✓ 3D (Geometría): Representación del diseño físico y espacial del proyecto en tres dimensiones.
- ✓ 4D (Tiempo): Integración del cronograma pormenorizado de actividades constructivas a un modelo tridimensional, produciendo simulaciones dinámicas que representan la sucesión temporal de las actividades constructivas, y propiciando: la planificación minuciosa, la detección de potenciales incompatibilidades y la mejora de los recursos.
- ✓ 5D (Costos): Integración de la estimación de costos y presupuestos con el modelo, lo que posibilita un control y gestión más eficaz del presupuesto.
- ✓ 6D (Sostenibilidad): Evaluación integral del rendimiento energético y ambiental del proyecto, desde la construcción hasta la operación y el desmantelamiento.
- ✓ BDC (Base de Datos Centralizada): El BIM representa un banco de información dinámico y unificado, en el que cualquier modificación realizada en el modelo se propaga instantáneamente a todas las disciplinas involucradas, garantizando que todos trabajen con la información más actualizada.

Ilustración 1: Dimensiones BIM



Fuente: Ilustración tomada de (SADE, 2020)

2.1.2.3. Componentes de la planificación estratégica para la instauración de BIM

Una adecuada programación estratégica contribuye a que una entidad se encuentre dispuesta para ejecutar un nuevo procedimiento o tecnología con resultados previstos; si se consigue aplicar de forma correcta, fomenta la cooperación dentro de una organización y atenúa de manera considerable las probabilidades de fallo. Para la consecución de las ventajas derivadas de la instauración de BIM, se requiere la elaboración de un esquema estratégico que contemple el desenvolvimiento de:

- Entendimiento de las metas de la entidad y los propósitos BIM dentro de un lapso establecido.
- La eficiente distribución de los recursos de la entidad hacia las aptitudes esenciales y prioridades BIM.
- El fomento del trabajo colaborativo y un enfoque integrado para la programación con diversas perspectivas de distintos profesionales participantes.
- La determinación de un indicador de referencia que permita evaluar el progreso de cada una de las categorías competitivas a través de las diversas especialidades que aportan en el diseño del proyecto a través de un entorno colaborativo.

De forma similar a la adaptación a cualquier nuevo procedimiento, la aplicación de BIM dentro de una entidad implica una fase de aprendizaje; esta resulta más compleja de asimilar para las entidades con escasa o sin experiencia con BIM. La carencia de familiarización puede acarrear peligros durante la etapa de edificación; con una programación más exhaustiva, la entidad podrá ser capaz de conseguir una mayor nitidez del procedimiento, lo cual aminora los riesgos e incrementa el valor integral del mismo.

2.1.2.4. Niveles de desarrollo BIM

Una vez establecido un planeamiento estructurado, las exigencias de cada componente del modelo para cada equipo de trabajo dentro de la entidad deben ser establecidas para la evolución de estos; los equipos de trabajo determinarán lo que se requiere para el Nivel de Desarrollo (LOD) y así alcanzar las ventajas para el componente de trabajo. El nivel de desarrollo describe el grado de complejidad. Existen diversas formas en que el nivel de desarrollo puede ser registrado, como se exhibe en la siguiente enumeración:

- Dimensión y ubicación exacta, incluyendo los recursos y lineamientos de diseño.
- Dimensión y posición general, abarcando datos de cada uno de los parámetros.
- Dimensión y posición esquemática.

Las especificaciones del modelo adoptado por el AIA (Instituto Americano de Arquitectos) proporcionan una alternativa más específica para seleccionar el nivel de desarrollo (LOD); este nivel de desarrollo actual es la distinción más reconocida en el sector. Sin embargo, el listado previo presenta un ejemplo de nivel para las descripciones de desarrollo; posteriormente, se presentará una tabla de consulta para los niveles de desarrollo de BIM.

El “Level Of Development” o sus siglas en ingles LOD viene a ser el nivel de desarrollo realizado del proyecto, el mismo constará de dos elementos principales.

- La Geometría o representación visual del proyecto, Level Of Geometry (LOG) Se refiere al nivel de detalle y precisión con el que se representa la geometría del proyecto en el modelo. El LOG determina la cantidad de información geométrica que se incluye, desde representaciones básicas hasta modelos altamente detallados, dependiendo de las necesidades del proyecto en diferentes fases.

- Datos Adjuntos y/o Asociados a los Objetos del Modelo BIM, Level of Information (LOI): El Nivel de Información (LOI) en BIM determina profundidad y precisión de los datos asociados a cada elemento del modelo. Esta capa de información complementaria, que incluye propiedades como materiales, especificaciones técnicas, costos y plazos de ejecución, entre otros, que se incluyen en los elementos del modelo, respecto a los requisitos establecidos de distintas etapas, enriquece al modelo hasta que se convierta en un instrumento para gestionar proyectos más completa y versátil.

La escala de LOD en BIM establece una jerarquía de detalle que va desde un nivel conceptual (LOD100) a una representación altamente detallada (LOD500). Cada nivel de la escala define la granularidad de la información asociada a un elemento del modelo, determinando así su grado de madurez y precisión.

- LOD 100 (representación simbólica): Durante la etapa inicial de un proyecto, LOD 100 proporciona una representación esquemática y simplificada del mismo, en la que los componentes se muestran de forma global, sin profundizar en aspectos constructivos. Este modelo fundamental es perfecto para las primeras etapas del diseño, en las que se intenta definir las conexiones espaciales y funcionales entre los distintos elementos.
- LOD 200 (sistema genérico): El LOD 200 proporciona una representación genérica de los elementos del modelo, donde estos comienzan a adquirir características más definidas y se establecen relaciones espaciales más precisas. Adicionalmente, este nivel permite asociar datos no gráficos a la geometría, como materiales o sistemas.
- LOD 300 (sistema específico): El LOD 300 representa un nivel de detalle elevado en el modelo BIM, donde cada elemento del modelo se define con precisión en términos de características. Además, se vincula información no gráfica específica a cada elemento,

como materiales, fabricantes o sistemas, lo que permite realizar análisis más precisos y tomar decisiones de diseño más fundamentadas, entregando una visión más detallada que el LOD 200.

- **LOD 400 (fabricación):** El LOD 400 representa un nivel de detalle extremo en el modelo BIM, donde los elementos se definen con una precisión tal que permiten ser fabricados, montados o instalados directamente en base a datos contenidos del modelo. Cada elemento cuenta con dimensiones exactas, tolerancias, acabados y demás atributos necesarios para su producción y ensamblaje, convirtiendo al modelo en un verdadero gemelo digital del objeto físico. Además, permite asociar datos no gráficos a la geometría.
- **LOD 500 (representación verificada – según construcción):** El LOD 500 representa el nivel más alto de detalle en un modelo BIM, donde la información contenida es una réplica exacta a través de verificaciones in situ del elemento construido sobre datos obtenidos directamente en obra, garantizando una precisión máxima en cuanto a características físicas y funcionales del elemento, incluyendo todos los detalles constructivos y los ajustes realizados al ejecutar el proyecto. Adicionalmente, toda la información relevante, tanto gráfica como no gráfica, es incorporada al modelo, reflejando fielmente el estado actual y final del elemento construido.

Tabla 2: Niveles de desarrollo de un modelo BIM.

Nivel del Desarrollo	Descripción
Diseño del Modelo Preliminar LOD 100	La construcción puede ser modelada en tres dimensiones o representada mediante otros datos que se emplean para señalar superficies, elevaciones, volúmenes, emplazamiento y dirección.
Diseño del Modelo Elaborado LOD 200	Los componentes modelados se visualizan como sistemas o agrupaciones con magnitudes aproximadas y generalizadas, en dimensión, configuración,

	emplazamiento y dirección. La información puede estar vinculada a los componentes del modelado.
Diseño del Modelo para la documentación LOD 300	Componentes dentro del modelado se representan como agrupaciones exactas en términos de magnitud, dimensión, configuración, emplazamiento y dirección. La información puede estar vinculada a los componentes del modelado.
Modelo para la edificación LOD 400	Los componentes son modelados como agrupaciones concretas en dimensión, configuración, emplazamiento y dirección con información minuciosa de la manufactura y el ensamblaje. La información puede estar vinculada a los componentes del modelado.
Modelo para el registro LOD 500	Los componentes del modelo se muestran como ensamblajes edificados reales y precisos en términos de magnitud, configuración, emplazamiento, cantidad y dirección. La información no geométrica también puede estar vinculada a componentes del modelado. Exportar a Hojas de cálculo

Fuente: Elaboración propia.

El Nivel de Necesidad de Información (LOIN), consignado en la norma ISO 19650 (International Organization for Standardization, 2021), como una progresión más adaptable del Nivel de Desarrollo (LOD), reconoce que trasciende el nivel de minuciosidad y se concentra en la información indispensable y en función de las funciones y obligaciones de cada participante involucrado, con el propósito de satisfacer las exigencias concretas de cada fase del proyecto BIM. De esta forma, se asegura que la información producida sea pertinente y provechosa para la adopción de determinaciones en cada período del ciclo de vida, y se previene la producción de información superflua o prescindible, optimizando la eficacia y la calidad de los procedimientos.

El "Nivel de Necesidad de Información" (LOIN), incorporado con el objetivo de asegurar que los datos intercambiados sean pertinentes, relevantes, oportunos, suficientes y provechosos para cada participante de un proyecto BIM, con el fin de apoyar la adopción de determinaciones y simplificar la cooperación entre los distintos equipos. Al establecer la granularidad idónea de los datos, se contemplan

factores como las metas del proyecto, los plazos, las funciones de los participantes involucrados y la entidad.

Aunque el LOD ofrece una estructura para establecer el nivel de precisión de los elementos en un modelo BIM, LOIN se implementa para superar y establecer la granularidad concreta de información necesaria en cada fase del proyecto, ajustándose a las demandas específicas de cada participante implicado.

2.1.2.5.Herramientas y software BIM

Existen diversas herramientas para el desarrollo de proyectos en BIM, entre las más utilizadas:

- Autodesk Revit: Una de las herramientas más destacadas en BIM, utilizada en el diseño arquitectónico, estructural y de sistemas MEP. Su capacidad de integrar disciplinas la hace clave para proyectos colaborativos.
- Graphisoft ArchiCAD: Principalmente utilizada para el diseño arquitectónico, ArchiCAD facilita el generar modelos 3D preciso, es reconocida por el enfoque intuitivo que posee, y es fácil de usar.
- Bentley Systems (MicroStation, OpenBuildings): Bentley proporciona soluciones completas para la gestión de infraestructuras. Sus herramientas permiten la administración de proyectos complejos tanto de infraestructuras como de edificios.
- Tekla Structures: Diseñada específicamente para la ingeniería estructural, Tekla facilita la creación de modelos detallados de estructuras de acero y concreto.
- Autodesk Navisworks: herramienta indispensable para la detección proactiva de interferencias y la coordinación efectiva los flujos de trabajo entre las diferentes disciplinas de en un proyecto de construcción. Al integrar modelos 3D de diferentes áreas

(arquitectura, ingeniería, etc.), en una única plataforma, permite identificar y resolver colisiones e interferencias de manera anticipada, reduciendo riesgos referentes a la ejecución, y optimizando los procesos constructivos.

Para seleccionar de manera adecuada el software BIM a utilizar podemos evaluar los siguientes aspectos:

- **Relevancia del proyecto:** La elección del software adecuado dependerá del tamaño y alcance del proyecto, permitiendo así delimitar mejor los programas más apropiados para su gestión.
- **Tipo de actividades:** Para proyectos predominantemente verticales, el uso de software como Revit o ArchiCAD resulta más eficiente, mientras que, en construcciones horizontales, herramientas como AllPlan ofrecen mayores ventajas.
- **Interacción con otros agentes:** Es recomendable emplear el mismo software que utilizan los profesionales y empresas con las que se colabora, ya que esto facilitará la integración y el flujo de trabajo.
- **Experiencia previa en software:** Contar con conocimientos en distintos programas optimiza la capacidad de intercambio de modelos y datos entre los diferentes actores del proyecto, mejorando la eficiencia en la coordinación.
- **Capacidades del hardware:** El rendimiento y la potencia de los equipos disponibles serán factores determinantes para seleccionar el software más adecuado, asegurando un funcionamiento óptimo.

2.1.2.6. Fases de un proyecto con BIM

BIM ofrece una visión integral de cada uno de los proyectos donde se aplica, abarcando desde fases iniciales de concepción y diseño hasta su gestión y operación, proporcionando una herramienta unificada para todas las fases:

- a. Fase de Planificación y Diseño: En esta etapa, se crea el modelo BIM, incorporando todos los detalles del proyecto. Los arquitectos, ingenieros y otros diseñadores trabajan juntos para desarrollar el modelo, lo que permite validar las decisiones de diseño antes de comenzar la construcción. Este enfoque colaborativo ayuda a identificar posibles problemas de manera anticipada, asegurando que el proyecto avance de forma más.
- b. Fase de Construcción: BIM constituye un instrumento fundamental para gestionar la fase constructiva, permitiendo una coordinación precisa de las actividades, una supervisión rigurosa del presupuesto y una optimización del uso de los recursos. La integración con herramientas de visualización como Navisworks o de modelado estructural como Tekla, garantiza la coordinación de los detalles constructivos y permite supervisar la calidad del trabajo en tiempo real, asegurando que todo avance conforme al plan establecido. Facilitando la detección proactiva de problemas y desviaciones del plan.
- c. Fase Operativa y de Mantenimiento: La metodología BIM extiende su valor más allá de la fase constructiva, convirtiéndose en un instrumento imprescindible para gestionar integralmente el edificio operando. Los detalles del sistema como HVAC, fontanería, cableado eléctrico y otros se mantienen actualizados en el modelo, lo que facilita el planificar y ejecutar tareas de mantenimiento, mejorando eficiencia en reparaciones, optimizando recursos y reduciendo periodos inactivos de los equipos, al proporcionar acceso rápido a la información relevante sobre cada sistema.

2.1.2.7. Beneficios de implementar BIM en un proyecto

- a. Reducción de Errores y Conflictos: La implementación de BIM garantiza una mayor calidad en la ejecución del proyecto al permitir la detección temprana y la resolución de conflictos entre los diferentes sistemas. Clash Detection facilita la identificación y corrección de interferencias entre los sistemas estructurales, mecánicos, eléctricos y de fontanería antes de comenzar la construcción, lo que disminuye los errores durante la fase de obra, conduce a una construcción más eficiente y a la minimización de costos correctivo respecto a errores de la obra.
- b. Optimización de los Costos y el Tiempo: El modelo BIM, al integrar información detallada en una guía digital, posibilita la gestión con más precisión y eficiencia al gestionar recursos. Combinando el modelo con la programación 4D BIM, se logra una planificación detallada de las actividades constructivas, optimizando los tiempos de ejecución y reduciendo los retrasos. Adicionalmente, al integrar costos a 5D BIM, facilita un control presupuestario en tiempo real, permitiendo identificar y corregir interferencias previamente a que se conviertan tentativamente en problemas significativos, ayudando a contener el proyecto dentro de lo planeados.
- c. Mejora Colaborativa y Comunicativa: La metodología BIM proporciona una plataforma de colaboración transparente que unifica a todos los participantes incluidos, desde responsables del área de arquitectura, hasta del área de ingeniería, construcción, incluso dueños, quienes trabajan con el mismo modelo. Al compartir un modelo digital único y actualizado, se facilita la coordinación entre disciplinas, se reducen las discrepancias y se optimiza el flujo de trabajo, traducido en un incremento de productividad.
- d. Mejora de la Sostenibilidad y el Rendimiento Energético: BIM permite realizar simulaciones energéticas y de sostenibilidad, lo que facilita el diseño de edificios más

eficientes en términos de consumo energético. Con las herramientas de BIM, se puede evaluar la eficiencia energética de un proyecto, simular su comportamiento térmico y optimizar el uso de recursos y materiales, lo que contribuye a un diseño más sostenible y respetuoso.

- e. **Mejora en la Gestión Operativa:** La metodología BIM no se limita a la finalización de una construcción, se extiende durante de todo el ciclo de vida del inmueble. Al ofrecer información detallada sobre los sistemas y componentes, se convierte en un recurso indispensable para optimizar las tareas operativas y de mantenimiento, gracias a la disponibilidad de datos exactos sobre los sistemas, subsistemas y componentes del inmueble. Esta información hace más fácil la definición de mantenimientos preventivos, la identificación de posibles errores y la mejora de la eficiencia energética, lo que conduce a una mayor durabilidad y una disminución del costo operativo.

2.1.2.8. Casos de estudio y tendencias internacionales

- a. **Implementación de BIM en proyectos de infraestructura eléctrica:** Los beneficios de BIM se han evidenciado en proyectos de infraestructura eléctrica a nivel global. En el "Crossrail Project" del Reino Unido, una obra a gran escala del reino unido se utilizó BIM para gestionar sistemas eléctricos, mecanismos y estructurales. Con el uso de BIM se logró reducir costos de instalación y ahorrar en el tiempo total del proyecto. Además, permitió coordinar una gran cantidad de ingenieros y arquitectos.
- b. **Proyectos residenciales en Latinoamérica:** En México, el desarrollo del completo "Torre Reforma" implementó BIM, ya que vieron que era la mejor opción para poder coordinar los sistemas eléctricos logrando una reducción considerable del tiempo de diseño, La

integración de Revit con sistemas de detección de conflictos permitió optimizar el tiempo de trabajo, reduciendo costos operativos y mejorando la calidad de trabajo.

2.1.2.9. Proyectos de infraestructura eléctrica con BIM en Perú

a. Línea 2 del Metro de Lima: La construcción de la línea número dos del Metro de Lima representa uno de los proyectos de infraestructura más ambiciosos del país. BIM ha desempeñado un rol fundamental en la articulación de los sistemas eléctricos en estaciones de subestación y túneles. Los logros obtenidos abarcan:

- ✓ La optimización de las rutas de cableado permite un ahorro en los gastos de materiales eléctricos.
- ✓ Identificar precozmente interferencias entre sistemas eléctricos y mecánicos, previniendo demoras importantes.
- ✓ Elaborar un modelo digital para simplificar futuras expansiones y el cuidado de los sistemas eléctricos a futuro.

b. Centro Corporativo Real 10: Ubicado en San Isidro, el Centro Corporativo Real 10 es un edificio de oficinas que implementó BIM en la concepción y ejecución de sus instalaciones eléctricas. Este proyecto demostró los beneficios del BIM en:

- ✓ Disminuir el tiempo de edificación a través de una coordinación más eficaz entre las disciplinas.
- ✓ Mantenerse en concordancia con los lineamientos del Código Nacional de Electricidad y las regulaciones internacionales.

- ✓ Optimizar la eficiencia energética del inmueble mediante un sistema eléctrico perfeccionado que disminuyó el uso.

Dichos proyectos evidencian la repercusión favorable de la aplicación de BIM en la infraestructura eléctrica, a escala tanto nacional como global. Esta metodología no solo optimiza la eficiencia y la sustentabilidad, sino que además asegura la compatibilidad entre las distintas especialidades, disminuye los costos de operación y simplifica el mantenimiento.

2.1.3. Optimización del diseño de alimentadores eléctricos

La optimización en la concepción de los alimentadores eléctricos alude al procedimiento de perfeccionar diversos elementos del sistema con el objetivo de garantizar que este sea eficiente, confiable y productivo. Esto abarca:

- ✓ Reducción de Pérdidas Eléctricas: La optimización de la red eléctrica es esencial para minimizar las pérdidas energéticas durante la transmisión de energía eléctrica del transformador a puntos para su consumo en cada departamento. El proceso de seleccionar cuidadosamente conductores con baja resistencia eléctrica, combinado con una planificación minuciosa de las rutas de los alimentadores, garantiza una distribución eficiente de la energía, reduciendo al mínimo las pérdidas por efecto Joule y mejorando sustancialmente la eficiencia energética del sistema y disminuyendo costes operativos referentes a las interferencias de servicio.
- ✓ Equilibrio de Cargas: Un diseño eficiente debe asegurar que las cargas se distribuyan de manera uniforme a lo largo del sistema, evitando la sobrecarga de cualquier parte del alimentador y garantizando un uso óptimo de la energía.

- ✓ Selección de Protección Adecuada: Cada sistema de protección, como: interruptores automáticos y fusibles, deben ser elegidos y dimensionados adecuadamente para anticiparse a daños que perjudiquen equipos, así como a los usuarios.
- ✓ Evaluación de Alternativas de Diseño: Normalmente, los ingenieros presentan varias alternativas de diseño para los alimentadores, evaluando la viabilidad de cada una mediante simulaciones y análisis de costo-beneficio. Este proceso implica tomar decisiones clave sobre aspectos como la cantidad de transformadores necesarios, la longitud óptima de los alimentadores y la ubicación estratégica de los centros de distribución.

Al considerar estos factores, se busca encontrar la solución más eficiente y rentable, garantizando un suministro eléctrico confiable y minimizando las personas.

2.1.3.1. Aplicación de BIM en la optimización de alimentadores eléctricos en baja tensión

La incorporación de BIM en la concepción de alimentadores eléctricos para conjuntos habitacionales promueve una cooperación más íntima y eficaz entre los diversos equipos participantes a lo largo del proyecto. Al suministrar una representación digital minuciosa y armonizada de todos los componentes involucrados, BIM faculta la coordinación de esfuerzos de manera más efectiva, y una adopción de determinaciones más exacta y argumentada, disminuyendo la probabilidad de equivocaciones y garantizando que el proyecto se ejecute según lo programado, perfeccionando la eficiencia y aminorando los riesgos vinculados a la edificación.

- a. Planificación y Diseño Detallado: La habilidad de simulación y análisis virtual del modelo en una visualización tridimensional completa y coordinada de cada elemento del sistema, es una ventaja principal proporcionada por la utilización de BIM para la etapa de diseño,

la cual facilita la identificación y resolución de posibles problemas en diferentes escenarios previamente a materializarse, reduciendo costos y retrasos en el proyecto. Pasos:

- ✓ **Modelado 3D de la Red Eléctrica:** En lugar de depender únicamente de los diagramas bidimensionales tradicionales, BIM permite desarrollar un modelo tridimensional completo del sistema de distribución eléctrica, lo que facilita la visualización de las interconexiones entre alimentadores, paneles de distribución y transformadores. Esto mejora la comprensión de cómo se distribuye la energía en el conjunto residencial.
- ✓ **Análisis de Carga Eléctrica:** BIM facilita la ejecución de simulaciones de carga eléctrica para anticipar el comportamiento del sistema en distintas condiciones operativas. Esto permite evaluar cómo las cargas variables en los departamentos o áreas comunes influyen en el rendimiento de los alimentadores, lo que a su vez posibilita ajustar el diseño para mejorar la eficiencia y minimizar.
- ✓ **Simulación de Fallos y Respuesta del Sistema:** El modelo BIM posibilita la simulación de posibles fallos en el sistema eléctrico, como cortocircuitos o sobrecargas, y permite evaluar la respuesta del sistema ante estas situaciones. Esto resulta esencial para garantizar que los sistemas de protección e interruptores automáticos estén adecuadamente dimensionados.
- ✓ **Optimización de Rutas de Cableado:** El software BIM facilita la optimización de las rutas de los cables eléctricos, reduciendo la longitud de los alimentadores y, por ende, las pérdidas por resistencia. Además, al proporcionar una representación exacta de los espacios disponibles, asegura que las instalaciones se adecuen a las limitaciones de espacio y cumplan con las normas.

- b. Coordinación y colaboración multidisciplinaria: Una ventaja primordial del modelo BIM es su habilidad de facilitar la comunicación y coordinación más informada y colaborativa, entre los diversos equipos incluidos respectivamente, desde el área de arquitectura e ingeniería hasta del área contratista y administrativa. En el caso de complejos residenciales, donde convergen múltiples disciplinas, al proporcionar un medio común para intercambiar datos, BIM actúa como un lenguaje común que permite una colaboración más fluida y eficiente, optimizando procesos como diseñar, construir y operar, lo que resulta en soluciones óptimas y eficientes.
- ✓ Integración de Especialidades: Con BIM, se puede integrar el diseño de los alimentadores eléctricos con otros sistemas del edificio, como la red de agua, ventilación, calefacción, y telecomunicaciones. Esta integración es crucial para evitar conflictos entre los sistemas, optimizar el uso del espacio y reducir interferencias durante la construcción.
 - ✓ Revisión y Actualización en Tiempo Real: Al operar con un modelo BIM, las agrupaciones de diseño pueden efectuar modificaciones y actualizaciones en un único modelo que se actualiza en tiempo presente, lo cual se manifiesta en una optimización considerable en lo que concierne a exactitud y eficacia. Las agrupaciones de diseño pueden cooperar. Cualquier modificación ejecutada en el diseño de un alimentador eléctrico, como la variación en el recorrido de un cableado o la reubicación de un aparato eléctrico, se actualiza de forma instantánea en el modelo para todos los usuarios, asegurando que todos estén trabajando con la información más reciente, previniendo costos por equivocaciones y facilitando decisiones.

- ✓ Detección de Conflictos: BIM incluye herramientas para la detección de interferencias (clash detection), que permiten identificar posibles conflictos entre los alimentadores eléctricos y otros elementos del diseño, como columnas, paredes o sistemas mecánicos. Esto reduce el riesgo de tener que realizar modificaciones costosas durante la construcción.
- ✓ Mejora de la Comunicación: BIM garantiza una mayor transparencia en para gestionar información. Centralizando todos los datos en un modelo digital colaborativo instantáneo, cada miembro del equipo tiene acceso simultáneo en tiempo real a los datos más actualizados del proyecto, al eliminar la necesidad de intercambiar grandes volúmenes de documentación y reducir los tiempos de respuesta, facilitando la comunicación, la coordinación de tareas y el proceso para tomar decisiones más ágiles y eficientes.

c. Optimización del Uso de Recursos y Costos: La implementación del modelo BIM al concebir sistemas eléctricos, juntamente con instrumentos de análisis de costos, proporciona un fundamento que consiente identificar y suprimir el derroche. Al cuantificar el impacto de las diversas opciones de diseño en términos de costos y recursos, se pueden seleccionar las soluciones más eficientes y lucrativas, optimizando de este modo el empleo de recursos aprovechables, lo cual genera una disminución considerable en costos de la obra.

- ✓ Análisis de Costos de Materiales: El método BIM suministra un instrumento invaluable para llevar a cabo estimaciones de costos de materiales sumamente precisas desde las etapas primarias del diseño de sistemas eléctricos. Al disponer de un modelo digital minucioso de todos los componentes, resulta factible

calcular con exactitud la cuantía y el costo de materiales tales como conductores, transformadores y aparatos de protección, además de evaluar el impacto pecuniario de las opciones de diseño y seleccionar la opción con mayor acomodación con respecto a las limitaciones presupuestarias de la obra.

- ✓ Optimización del Tiempo de Construcción: La aplicación de BIM revoluciona los procesos de planificar y coordinar las actividades constructivas al proporcionar un modelo digital detallado y compartido. Al todos los datos dentro de un solo lugar, se permite a los contratistas optimizar la secuencia de las tareas, minimizar las interferencias y reducir los tiempos de inactividad, asegurando así el cumplimiento de los plazos establecidos.
- ✓ Evaluación de Alternativas de Diseño: BIM facilita la evaluación rápida de diferentes alternativas de diseño para los alimentadores eléctricos, permitiendo comparar rápidamente distintas opciones en términos de costos, eficiencia y viabilidad técnica. Esto permite elegir la mejor solución sin comprometer la calidad ni la seguridad.
- ✓ Administración del Ciclo de Vida del Proyecto: El modelo BIM trasciende las etapas primigenias de diseño y edificación, prolongándose a lo largo de todo el ciclo operativo de los proyectos de alimentadores eléctricos. Al convertir el modelo BIM en una plataforma de gestión a largo plazo de los sistemas eléctricos, los operarios pueden acceder a información pormenorizada y actualizada sobre la localización, las propiedades y la condición de los componentes del sistema, lo cual simplifica la planificación y la ejecución de actividades de mantenimiento y modernización.

d. **Análisis y Simulaciones:** La metodología BIM faculta la realización de simulaciones que permiten optimizar de manera proactiva el diseño y el desempeño de los alimentadores eléctricos en baja tensión. Estas simulaciones no solo permiten prever el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones, sino que también ofrecen la posibilidad de optimizar su diseño, identificando posibles cuellos de botella y ajustando los parámetros del sistema para garantizar un rendimiento óptimo antes de su implementación física.

- ✓ **Simulación de Flujo de Carga Eléctrica:** Mediante las herramientas de simulación integradas en el entorno BIM, es posible modelar y simular los flujos de carga eléctrica en el sistema. Esto asegura que los alimentadores puedan manejar la carga máxima sin generar pérdidas excesivas, previniendo problemas como caídas de tensión o sobrecalentamiento.
- ✓ **Análisis de Eficiencia Energética:** Al permitir realizar análisis detallados de diversos aspectos del sistema y simulaciones, se obtienen datos precisos que permiten evaluar el impacto de diferentes medidas y elegir las mejores opciones para optimizar el consumo energético y minimizar el impacto ambiental. Se logra seleccionando materiales eficientes y aplicando estrategias para reducir pérdidas energéticas.
- ✓ **Simulación de Condiciones:** BIM es capaz de facilitar la simulación de fallos, como cortocircuitos o sobrecargas, esto en complemento con software especializado permite evaluar cómo reaccionaría el sistema de protección determinado; siendo esto es fundamental para garantizar la confiabilidad del sistema y prever posibles averías en equipos o riesgos que puedan afectar a los ocupantes de conjuntos residenciales.

e. Integración con Otras Herramientas y Tecnologías: BIM no es una herramienta aislada, sino que puede integrarse con otras tecnologías emergentes que potencian aún más la optimización del diseño de los alimentadores eléctricos. Algunas de las más destacadas incluyen:

- ✓ La Tecnología IoT: Aplicar la tecnología IoT (sensores IoT) en el sector eléctrico faculta la provisión a componentes cruciales, como transformadores y tableros de distribución, de sensores aptos para recolectar información en tiempo real sobre su estado y rendimiento. Dichos datos pueden ser integrados a plataformas de trazado de información de la edificación (BIM), generando modelos digitales dinámicos que reflejan de manera exacta las circunstancias operativas del sistema eléctrico. Esta integración suministra un instrumento valioso para la administración eficiente de la infraestructura eléctrica, permitiendo la detección precoz de irregularidades, la optimización de la operación y el mantenimiento predictivo, con una visión continua y precisa.
- ✓ Big Data y Análisis Predictivo: La integración de tecnologías de Big Data al ámbito eléctrico, revoluciona el manejo de energía. Al analizar grandes volúmenes permite extraer valiosos datos sobre el consumo energético y el rendimiento de los alimentadores, siendo posible identificar patrones y tendencias ocultas que permiten realizar predicciones precisas sobre el comportamiento del sistema. Esta inteligencia de datos facilita la realización de análisis predictivos que anticipan potenciales fallos y optimizan el diseño, garantizando una mayor eficiencia y confiabilidad.

- ✓ Realidad Aumentada (RA): La realidad aumentada promueve el colaborar y comunicar de forma efectiva entre cada equipo involucrado, al visualizar el modelo BIM en tiempo real sobre el entorno físico, ya que ofrece una experiencia inmersiva que facilita la localización precisa. Además, esta tecnología permite a los técnicos identificar rápidamente los componentes y sistemas, facilitando las tareas de instalación, inspección y mantenimiento, y reduciendo significativamente los tiempos de inactividad.

2.1.3.2. Comparativa entre normativas locales e internacionales

El diseño y la ejecución de sistemas eléctricos se encuentran condicionados por una serie de reglamentos y estándares que procuran asegurar la seguridad, la eficacia y la perdurabilidad de las instalaciones. Al referirnos al empleo de la tecnología BIM, estas normativas adquieren un rol esencial al incorporarse en los procesos de diseño, simulación y administración; ahora se presentará una tabla comparativa entre las normativas locales de mayor relevancia con las normativas internacionales:

Tabla 3: Comparativa entre normativas locales e internacionales

Aspecto	CNE – Utilización	IEC 60364	NEC
Enfoque Principal	Seguridad eléctrica local	Seguridad global y sostenibilidad	Seguridad contra incendios y choques
Cobertura	Nacional	Internacional	Nacional e internacional
Actualización	Periodicidad variable	Basada en consenso internacional	Revisión cada tres años
Eficiencia energética	Mencionada de forma limitada	Promovida	Abordada en proyectos específicos
Integración con BIM	En desarrollo	Altamente compatible	Compatibilidad limitada

Fuente: Elaboración propia.

La comparación entre el Código Nacional de Electricidad – Utilización (Ministerio de Energía y Minas, 2006) y las normativas internacionales evidencia la exigencia de adecuar y armonizar las regulaciones locales con los estándares internacionales; la incorporación de principios novedosos como la sustentabilidad y la compatibilidad con BIM, no solo optimizarían la calidad de los proyectos eléctricos en el país, sino que, a su vez, situaría al país como una nación que asimila las tecnologías emergentes en el ámbito de la edificación.

2.1.4. Aplicación del modelo BIM en Latinoamérica

En América Latina, la adopción de BIM está determinada por factores como la legislación, los proyectos de infraestructura y la aceptación por parte de empresas y profesionales. Países como Chile y Brasil han avanzado considerablemente en su implementación, mientras que, en otros lugares como Perú, Colombia, México, Argentina, Uruguay y Costa Rica, la adopción está aún en sus fases iniciales.

La implementación del Plan BIM Perú, iniciada en 2019, ha situado al país en la delantera de la asimilación de esta metodología en Latinoamérica. Con una perspectiva a largo plazo que abarca hasta 2030, este plan estratégico ha sido crucial para afianzar a Perú entre las cinco naciones más progresistas de la región en el empleo de BIM en sus proyectos de infraestructura.

La evolución de Building Information Modeling (BIM) en América Latina, ha experimentado un crecimiento dinámico y desigual notable hace poco, con una mayor penetración en aquellos países con economías más sólidas y sectores de la construcción más desarrollados. No obstante, la implementación de BIM a nivel nacional presenta un panorama heterogéneo. Esta diversidad en la adopción se manifiesta en los siguientes casos:

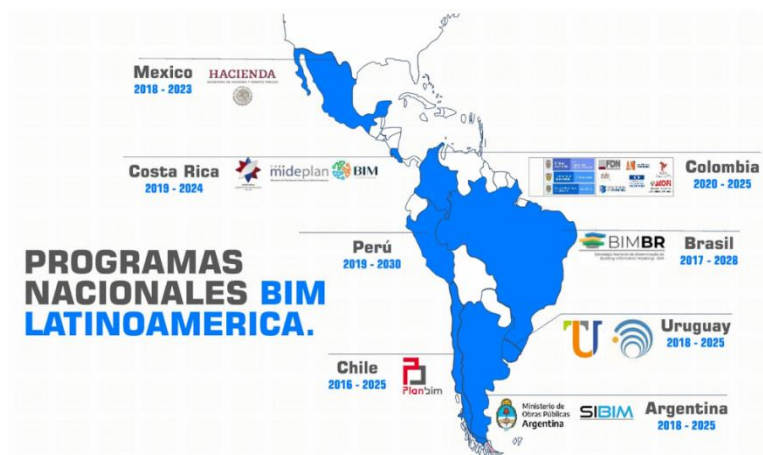
- México: México se ha posicionado como un referente de BIM en América Latina. Desde 2018, el gobierno mexicano ha impulsado de manera decidida la implementación de esta metodología a través de una serie de acciones estratégicas, entre las que destacan la

publicación de normativas técnicas y guías prácticas para el empleo de BIM en proyectos públicos. Como resultado de estos esfuerzos, en 2021, México presentó el Estándar Nacional de BIM, consolidando su liderazgo en la región y alineándose a las mejores prácticas internacionales y sentando las bases para una transformación digital.

- Brasil: En el ámbito de construcción brasileño, se ha demostrado un compromiso creciente con la metodología BIM, evidenciado por el notable incremento en su utilización, especialmente en construcciones de grandes dimensiones. Con el objetivo de consolidar esta tendencia, el gobierno brasileño promulgó en 2020 una política nacional que exige el incorporar obligatoriamente el modelo BIM en proyectos públicos, desde 2021. Esta medida ha acelerado de manera considerable su implementación en el país y se ha observado un aumento en la oferta de centros de capacitación y formación en BIM.
- Colombia: Colombia ha evidenciado un notable avance implementando la metodología BIM, como una estrategia eficaz para optimizar cada proceso, reducir costos y perfeccionar la calidad, de proyectos tanto públicos como privados. El compromiso del gobierno colombiano, manifestado mediante instituciones como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y otros organismos gubernamentales, han ejercido un rol protagónico al promover la mencionada metodología reconociendo su potencial.
- Argentina: Si bien la adopción de BIM en Argentina es un fenómeno relativamente reciente, el país ha experimentado un crecimiento notable de esta metodología, especialmente con iniciativas gubernamentales y privadas que fomentan su implementación. El sector privado, especialmente en grandes desarrollos inmobiliarios y obras de infraestructura, ha sido pionero en la implementación de BIM, debido al impulso por buscar mejorar en términos de eficiencia y calidad de procesos constructivos.

- Chile: La Cámara Chilena de la Construcción, con la participación de su Comisión BIM, ha constituido un agente primordial en el fomento y la consolidación del modelo BIM en Chile. Aunque la asimilación de BIM en el país ha representado un proceso paulatino, se han obtenido progresos notables, particularmente en la incorporación de BIM en la licitación y materialización de proyectos públicos. Estos éxitos son la consecuencia de una estrategia a largo plazo que ha comprometido a diversos participantes, con el propósito de modernizar sus prácticas.
- Perú: El modelo BIM en Perú sigue experimentando un crecimiento sostenido, impulsado tanto por la iniciativa del sector privado, que ha integrado BIM en grandes proyectos inmobiliarios y de infraestructura, como por el liderazgo del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones), que como entidad rectora del sector, ha respaldado esta tendencia al promover tal implementación en obras de carácter público, reconociendo el potencial para conseguir una mayor calidad de las obras y mejor eficiencia. Esta convergencia de esfuerzos ha generado un ecosistema propicio en el país, posicionando a Perú como un referente.

Ilustración 2: Aplicación del modelo BIM en Latinoamérica



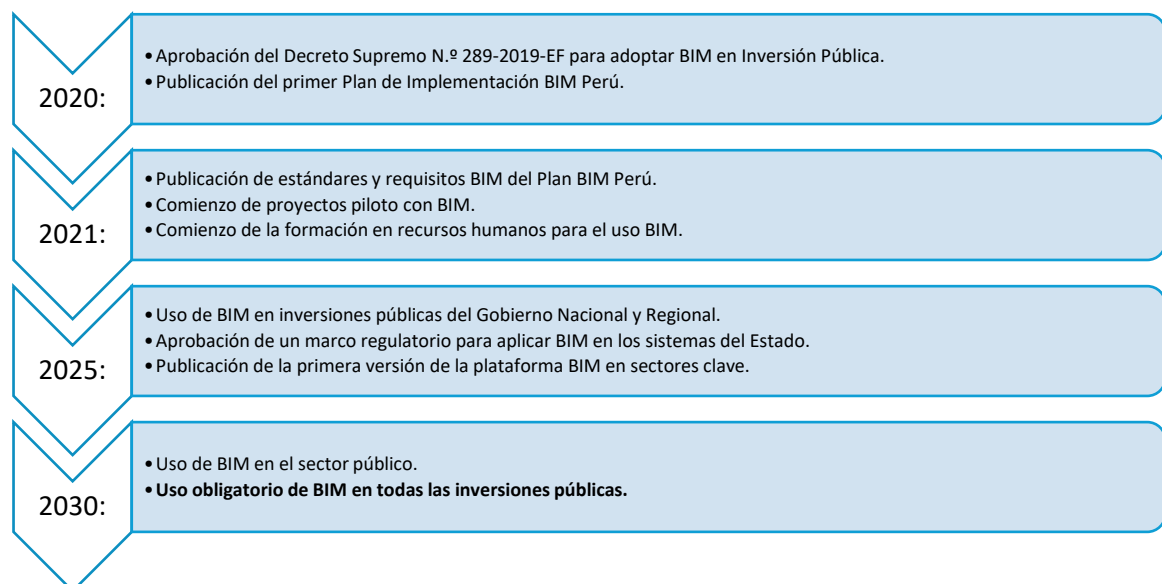
Fuente: Ilustración tomada de (Konstruedu, 2023)

2.1.5. Aplicación del modelo BIM en Perú

El Plan Nacional de Competitividad y Productividad (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019), define un esquema estratégico para la actualización de la administración pública en Perú. Dentro de las acciones fundamentales sobresale la aplicación gradual de BIM en todas las inversiones públicas hasta el 2030. Esta propuesta, contemplada en la medida de política 1.2 del plan, establece un plan de acción para perfeccionar los procesos, impulsar su transparencia y fomentar la sostenibilidad en la realización de proyectos de infraestructura, contribuyendo de esta manera a incrementar su eficacia y calidad de estas construcciones públicas en el país.

Igualmente, la Guía Nacional BIM Perú (Ministerio de Economía y Finanzas, 2023) es la estrategia que guía la aplicación de la metodología BIM en el sector público, con la finalidad de cambiar la administración de los proyectos de carácter público. Con una hoja de ruta clara, objetivos definidos y acciones estratégicas determinadas, este plan busca revolucionar el manejo de los proyectos determinados, promoviendo una inclusión progresiva de BIM en todas las etapas.

Ilustración 3: Hitos del Plan BIM Perú



Fuente: Elaboración propia.

El primer logro fijado en la Guía Nacional BIM Perú (Ministerio de Economía y Finanzas, 2023), ha sido concretado satisfactoriamente. La divulgación del DS N° 289-2019-EF (Diario El Peruano, 2019), y su consiguiente actualización posterior mediante su versión del DS N° 108-2021-EF (Diario El Peruano, 2021), establecieron los cimientos legales para adoptar progresivamente el modelo BIM en obras públicas nacionales. Igualmente, la presentación del Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021) proveyó una programación minuciosa, con plazos establecidos, y atribuciones delimitadas, para la ejecución de las acciones determinadas, garantizando así una implementación eficaz y eficiente de BIM. La Nota Técnica de Introducción BIM (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021) representan un hito sobresaliente en la anexión de la Guía Nacional BIM Perú (Ministerio de Economía y Finanzas, 2023).

Estos documentos, que brindan una orientación práctica y exhaustiva para adoptar el modelo BIM en el sector público, no solo satisfacen los objetivos primarios, sino que también señalan un jalón fundamental con respecto a la transformación digital del manejo de proyectos de infraestructura.

- Principios, adopción y uso de BIM
 - ✓ Eficiencia: Se espera como garantía que BIM contribuya para lograr gestionar eficientemente los recursos financieros públicos destinados a la inversión en infraestructura, reduciendo costes y periodos de aplicación en los proyectos públicos, y optimizando el empleo de recursos para operar y realizar mantenimientos respectivos en los proyectos.
 - ✓ Calidad: Adoptar el modelo BIM debe garantizar ejecuciones que cumplan con los requisitos técnicos y funcionales establecidos, asegurando así la satisfacción de las necesidades poblacionales respecto beneficios para la población con obras de calidad y durabilidad.

- ✓ Colaboración: BIM debe fomentar un mejor entorno colaborativo y coordinado, entre todos los actores implicados en los proyectos, que facilite la comunicación y el compartimiento de datos entre cada agente implicado en el ciclo útil de cada proyecto.
- ✓ Transparencia: BIM debe garantizar la transparencia en las decisiones tomadas por los líderes de obras públicas, así como en la gestión de los datos utilizados, asegurando la claridad y accesibilidad de la información a lo largo de todo el ciclo de la inversión.
- ✓ Coordinación: BIM requiere de una promoción para una estrecha colaboración entre cada sector: público, privado y académico, con la finalidad de crear un entorno integral favorable que simplifique su incorporación nacionalmente y asegure que sea sostenible su empleo a lo largo del tiempo.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Introducción a la metodología BIM

La metodología Building Information Modeling (BIM) se ha establecido como uno de los instrumentos más cruciales en el sector de la construcción, particularmente en términos de diseño y administración de proyectos, ya sean de arquitectura o ingeniería.

La metodología BIM posibilita la elaboración de modelos 3D con datos cruciales de cada elemento, optimizando la cooperación y la toma de decisiones durante el ciclo de vida del proyecto. Promueve el diseño y promueve la sostenibilidad y la eficacia en las operaciones.

2.2.2. Alimentadores eléctricos en baja tensión

Los alimentadores eléctricos de baja tensión son cruciales en la infraestructura de los conjuntos residenciales, ya que son responsables de transportar la energía eléctrica desde la fuente hasta los puntos de consumo dentro de los departamentos y áreas comunes. Su diseño debe considerar varios factores, como:

- **Carga eléctrica:** Es fundamental realizar un análisis detallado de la demanda energética para poder dimensionar adecuadamente los alimentadores, asegurando que cada unidad reciba la energía necesaria sin llegar a sobrecargar el sistema.
- **Eficiencia energética:** La optimización del consumo energético es necesario para reducir costos de operación y minimizar el impacto al medio ambiente. Esto implica aplicar tecnologías y buenas prácticas del sector, como sistemas de iluminación inteligentes, y adoptar fuentes de energía renovable.
- **Normativas y Regulaciones:** El diseño debe cumplir con las normativas locales e internacionales, que establecen estándares de seguridad y eficiencia.

2.2.3. Comparación entre la metodología tradicional y la metodología BIM

Tradicionalmente, el diseño de instalaciones eléctricas se ha realizado utilizando herramientas CAD 2D, lo que limita la capacidad de visualización y análisis de los proyectos, migrar a BIM permite:

- **Visualización tridimensional:** Los modelos 3D proporcionan una representación más clara de los sistemas eléctricos, facilitando la identificación de conflictos y la planificación del espacio.
- **Simulación y análisis:** BIM permite realizar simulaciones de carga eléctrica y análisis de eficiencia energética, lo que permite optimizar el diseño antes que la etapa de

construcción, lo que finalmente reduce la probabilidad que se tengan que hacer modificaciones de último momento y gastos innecesarios,

- Colaboración multidisciplinaria: La integración de diferentes disciplinas en un solo modelo estructural de manejo multidisciplinario fomenta la comunicación y la colaboración, reduciendo errores y mejorando la calidad del diseño.

2.2.4. Beneficios de la implementación de la metodología BIM

La adopción de BIM en el diseño de alimentadores eléctricos ofrece múltiples beneficios como:

- Detección anticipada de conflictos: La habilidad para detectar y solucionar problemas en las fases iniciales del diseño disminuye considerablemente los gastos relacionados con cambios durante el proceso de edificación.
- Optimización de recursos: BIM permite una gestión más eficiente de los recursos, asegurando que se utilice de manera efectiva y se minimicen los desperdicios.
- Mejora en la calidad del diseño: La colaboración entre equipos multidisciplinarios y la integración de información en el tiempo real contribuyen a un diseño más robusto y eficiente.
- Reducción de tiempos y costos: La metodología BIM ha demostrado tener la capacidad de reducir los tiempos de diseño y los costos operativos, lo que se traduce en proyectos más rentables.

El marco conceptual mostrado tiene por objetivo destacar la importancia de la metodología BIM en la optimización del diseño de alimentadores eléctricos de baja tensión. Al integrar diversas disciplinas y permitir un análisis más profundo de los sistemas eléctricos.

BIM no solo incrementa la eficiencia y la calidad del diseño, sino que también fomenta una edificación más sustentable y cooperativa. La transición de técnicas convencionales a BIM simboliza una transformación radical en la administración y realización de los proyectos de construcción, estableciendo un nuevo paradigma en este sector.

3. Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Tipo y diseño de la investigación

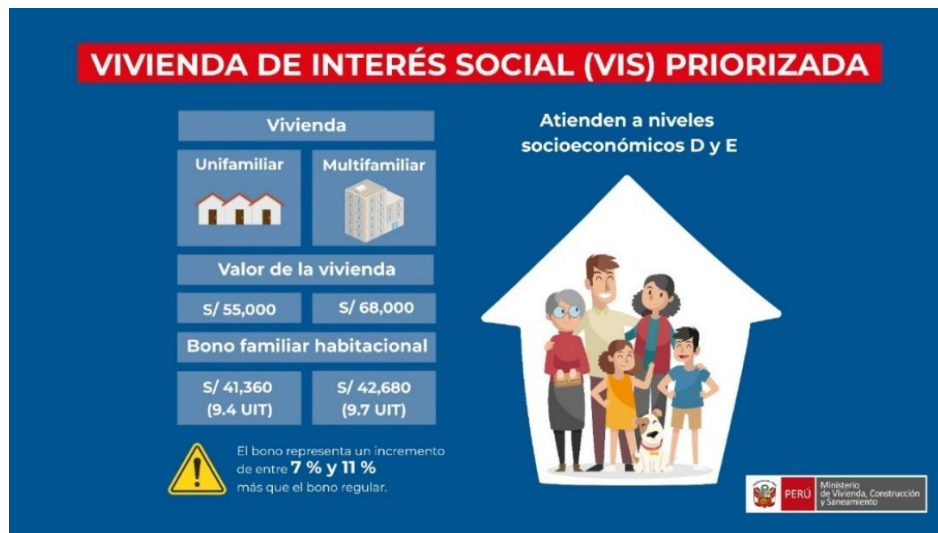
Esta tesis utilizará la metodología BIM para desarrollar el diseño eléctrico optimizado de los alimentadores de baja tensión en para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales. A través de un caso de estudio detallado, se recopilará información de un conjunto residencial, y se realizará una revisión exhaustiva de la bibliografía especializada, con el objetivo de aplicar la metodología BIM en cada fase del diseño.

3.1.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis será un Conjunto Residencial ubicado en el distrito de La Victoria, provincia y departamento de Lima.

Dicho proyecto inicio construcción hacia finales del 2022 y se desarrolló bajo el estándar de Vivienda de Interés Social (VIS), este Conjunto Residencial se ejecutó en un área de 1875 m² aprox., para este análisis se evaluarán las instalaciones eléctricas en compatibilización con las especialidades de arquitectura y estructuras.

Ilustración 4: Vivienda de interés social (VIS) priorizada



Fuente: Imagen tomada de (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021)

3.1.3. Matriz de consistencia

Tabla 4: Matriz de consistencia

Título: “OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ALIMENTADORES ELÉCTRICOS EN BAJA TENSIÓN PARA DEPARTAMENTOS Y SERVICIOS GENERALES DE CONJUNTOS RESIDENCIALES APLICANDO METODOLOGÍA BIM”			
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables
<i>Problema general</i>	<i>Objetivo general</i>	<i>Hipótesis general</i>	<i>Variable independiente</i>
¿En qué medida la aplicación de la metodología BIM optimiza el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales?	Aplicar la metodología BIM para optimizar el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.	La aplicación de la metodología BIM optimizará significativamente el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.	Aplicación de la metodología BIM.
<i>Problemas específicos</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>Hipótesis específicas</i>	<i>Variable dependiente</i>
¿En qué medida la aplicación de la metodología BIM mejora el dimensionamiento y selección de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales?	Aplicar la metodología BIM para mejorar el dimensionamiento y selección de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.	La aplicación de la metodología BIM mejora significativamente el dimensionamiento y selección de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.	Optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.
¿En qué medida la aplicación de la metodología BIM reduce los metrados de alimentadores eléctricos en baja	Aplicar la metodología BIM para reducir los metrados de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y	La aplicación de la metodología BIM reduce significativamente los metrados de alimentadores eléctricos en baja	

tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales?	servicios generales de conjuntos residenciales.	tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.
¿En qué medida la aplicación de la metodología BIM identifica de manera temprana las interferencias del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales?	Aplicar la metodología BIM para identificar de manera temprana las interferencias del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.	La aplicación de la metodología permitirá identificar de manera temprana las interferencias del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.

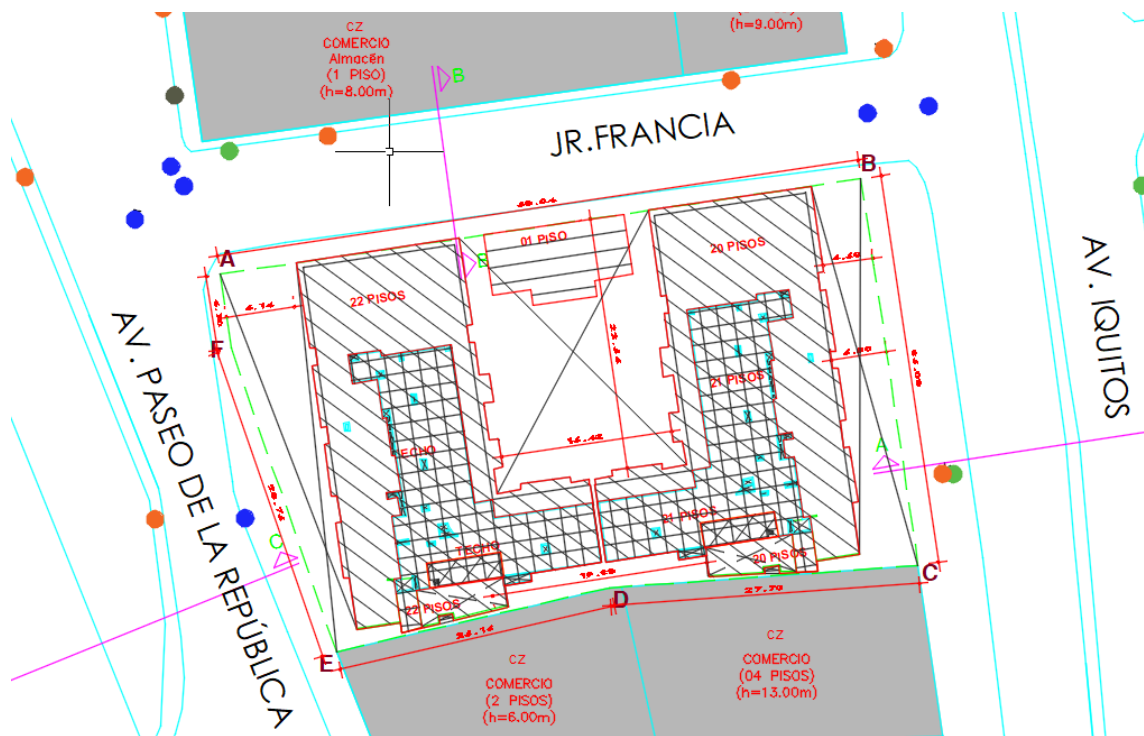
Fuente: Elaboración propia

3.2. Parámetros de diseño

3.2.1. Ubicación geográfica del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en Jr. Francia 130, distrito de La Victoria, Departamento de Lima, Perú.

Ilustración 5: Ubicación geográfica del Conjunto Residencial



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Características del proyecto

El proyecto consta de un área total de 26,520 m² aproximadamente, los cuales se encuentran distribuidos entre 02 edificios y 02 sótanos, el Edificio “A” de 20 pisos más azotea consta de 152 departamentos y el Edificio “B” de 22 pisos más azotea consta de 168 departamentos.

Los departamentos están clasificados en 08 tipologías de hasta 03 dormitorios, lo cual ayuda a identificarlos en cada edificio.

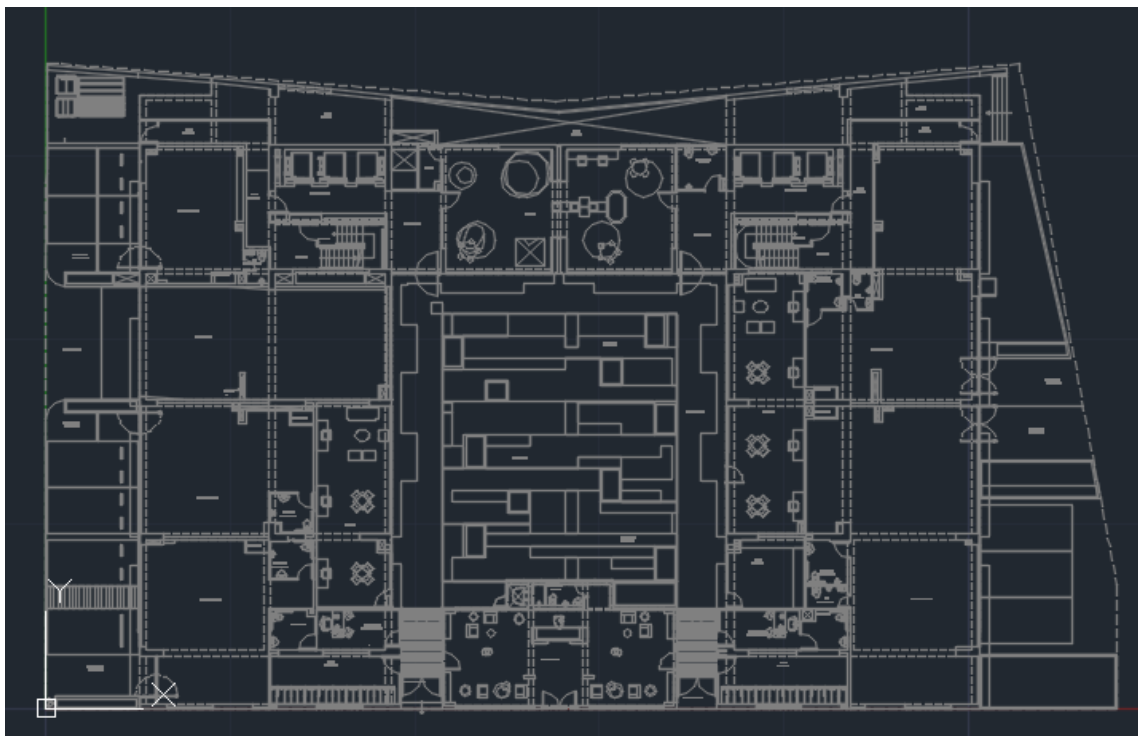
Tabla 5: Cuadro de áreas del Conjunto Residencial

PISO	ÁREA
Cto. De Bombas	182.31
Sótano 02	1598.06
Sótano 01	1669.91
1er Piso	1192.21
2do Piso	1073.24
3er Piso	1073.24
4to Piso	1073.24
5to Piso	1073.24
6to Piso	1073.24
7mo Piso	1073.24
8vo Piso	1073.24
9no Piso	1073.24
10mo Piso	1073.24
11mo Piso	1073.24
12mo Piso	1073.24
13er Piso	1073.24
14to Piso	1073.24
15to Piso	1073.24
16to Piso	1073.24
17mo Piso	1073.24

18vo Piso	1073.24
19no Piso	1073.24
20mo Piso	1073.24
21er Piso	740.03
22do Piso	536.62
23er Piso	209.96
Área	26520.66

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6: Vista planta del Conjunto Residencial



Fuente: Elaboración propia

3.3. Distribución de tableros eléctricos

La disposición de los tableros eléctricos debe acatar las normas del Código Nacional de Electricidad – Utilización (Ministerio de Energía y Minas, 2006) y situarse de manera apropiada cerca del punto de suministro eléctrico y de las cargas que este proporcionará.

El tablero debe situarse en zonas que no estén expuestas a daños, y que pueda ser accesible de manera sencilla cuando se requiera, la altura de ubicación puede ser variable, sin embargo, la altura respecto al piso del dispositivo de desconexión no debe superar el 1.70m de acuerdo con lo estipulado por el Código Nacional de Electricidad – Utilización (Ministerio de Energía y Minas, 2006).

Como consecuencia de la aplicación de estos criterios, se puede apreciar la distribución de los tableros eléctricos de departamentos y servicios generales en el Apéndice 03.

3.4. Metodología tradicional

3.4.1. *Diseño de alimentadores eléctricos*

Para el cálculo y selección de alimentadores se tendrá en cuenta el cable del tipo “N2XOH” el cual es libre de halógenos, baja emisión de humos densos y no propaga la llama ante un incendio además de poseer una adecuada resistencia para uso en la intemperie, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Máxima demanda
- ✓ Caída de tensión
- ✓ Capacidad admisible de corriente de los cables

3.4.1.1. *Cálculo de la máxima demanda*

Para determinar la máxima se tendrá los siguientes criterios:

- Departamentos: Calculo de acuerdo con la regla 050-202 estipulada en el Código Nacional de Electricidad – Utilización (Ministerio de Energía y Minas, 2006)

Tabla 6: Cuadro de cargas de 01 tablero eléctrico de departamento

DESCRIPCIÓN	C.U. (W)	Cantidad	C.I. (W)	F.D.	M.D. (W)
Area techada < 90m2					
CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00

Fuente: Elaboración propia

- Servicios Generales: Calculo por puntos de acuerdo con lo estipulado en la norma EM.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Tabla 7: Cuadro de cargas de 01 tablero eléctrico de servicios generales

DESCRIPCIÓN	C.U. (W)	CANT.	C.I. (W)	F.D.	M.D. (W)
ALUMBRADO PASADIZOS					
+HALL+LOBY+ESCALERAS	20.00	299.00	5,980.00	75%	4,485.00
EDIFICIO A					
ALUMBRADO EXTERIORES	40.00	59.00	2,360.00	75%	1,770.00
TOMACORRIENTES PASADIZOS					
+HALL+LOBY+ESCALERAS	100.00	50.00	5,000.00	75%	3,750.00
EDIFICIO A					
LUZ DE EMERGENCIA PISOS Y ESCALERAS EDIFICIO A	25.00	140.00	3,500.00	75%	2,625.00
PANEL DETECCION DE ALARMA CONTRA INCENDIO EDIFICIO A	250.00	1.00	250.00	75%	187.50
PANEL DE					
INTERCOMUNICADORES	500.00	1.00	500.00	75%	375.00
EDIFICIO A					

CHAPA ELECTRICA	300.00	2.00	600.00	75%	450.00
TTA-VEN EDIFICIO A	13,650.00	1.00	13,650.00	75%	10,237.50
TC-ASC 1	8,400.00	1.00	8,400.00	75%	6,300.00
TC-ASC 2	8,400.00	1.00	8,400.00	75%	6,300.00
TC-ASC 3	8,400.00	1.00	8,400.00	75%	6,300.00
TF-CB	72,868.00	1.00	72,868.00	75%	54,651.00
TD-S1	9,930.90	1.00	9,930.90	75%	7,448.18
TD-S2	11,059.90	1.00	11,059.90	75%	8,294.93
TD-AZ EDIFICIO A	12,018.00	1.00	12,018.00	75%	9,013.50
TOTAL					122,187.60

Fuente: Elaboración propia

La aplicación de ambos métodos y el cálculo detallado por edificio y servicios generales se pueden apreciar en el Apéndice 06.

3.4.1.2. Cálculo y selección de alimentadores

Para el cálculo y selección de alimentadores se debe determinar primero la corriente que circulará por el mismo, además, se tendrá en cuenta si el sistema eléctrico es monofásico o trifásico y la máxima demanda calculada, siguiendo las siguientes formulas:

- ✓ La fórmula general para sistemas monofásicos es:

$$I_n = \frac{M. D.}{V * \cos \emptyset}$$

- ✓ La fórmula general para sistemas trifásicos es:

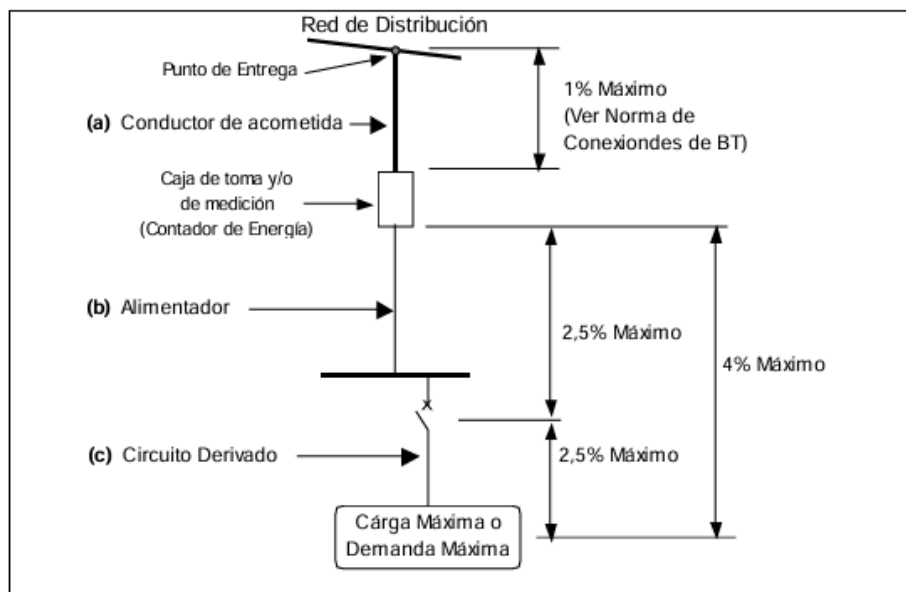
$$I_n = \frac{M.D.}{\sqrt{3} * V * \cos \phi}$$

Donde:

- I_n : Corriente nominal (A)
- M.D.: Máxima demanda calculada (W)
- V: Tensión (V)
- $\cos \phi$: Factor de potencia

El alimentador seleccionado tendrá la capacidad de transportar esta corriente calculada, además se deberá considerar que la caída de tensión máxima en el alimentador no excederá el 2.5% de la tensión y la caída de tensión máxima hasta el último punto de suministro no excederá el 4%, a continuación, se puede apreciar una imagen para mejor entendimiento:

Ilustración 7: Caída de tensión máxima permitida en un circuito



Fuente: Imagen tomada del Manual de Sustentación del Código Nacional de Electricidad – Utilización (Ministerio de Energía y Minas, 2008).

Para el cálculo de la caída de tensión utilizaremos las siguiente formulas:

- ✓ La fórmula general para sistemas monofásicos es:

$$\Delta V = 2 * R_{oper} * I_d * L * \cos \emptyset$$

- ✓ La fórmula general para sistemas trifásicos es:

$$\Delta V = \sqrt{3} * R_{oper} * I_d * L * \cos \emptyset$$

Sabiendo que:

$$I_d = 1.25 * I_n$$

Donde:

- ΔV : Caída de tensión (V)
- R_{oper} : Resistencia eléctrica de operación (Ω/m)
- I_n : Corriente nominal (A)
- I_d : Corriente de diseño (A)
- L : Longitud (m)
- $\cos \emptyset$: Factor de potencia

Debemos considerar que, la resistencia eléctrica será variables respecto a la temperatura, para lo cual utilizaremos las siguientes formulas:

$$R_{oper} = R_0 * (1 + \alpha * (T_{oper} - T_0))$$

Donde:

- R_{oper} : Resistencia eléctrica de operación (Ω/m)

- R_0 : Resistencia eléctrica en condición inicial (Ω/m)
- T_{oper} : Temperatura de operación ($^{\circ}C$)
- T_0 : Temperatura en condición inicial ($^{\circ}C$)
- I_{max} : Corriente máxima admisible (A)
- α : Coeficiente de variación de la resistencia eléctrica, para el Cu consideraremos $0.00393*(1/^{\circ}C)$

$$T_{oper} = T_{amb} + (T_{max} - T_{amb}) * \left(\frac{I_n}{I_{max} * K}\right)^2$$

Donde:

- T_{oper} : Temperatura de operación ($^{\circ}C$)
- T_{amb} : Temperatura de ambiente ($^{\circ}C$)
- T_{max} : Temperatura máxima de operación ($^{\circ}C$)
- I_n : Corriente nominal (A)
- I_{max} : Corriente máxima admisible (A)
- K : Factor de corrección

Además:

$$I_n < I_d < I_{max} * K$$

$$K = K_t * K_a$$

Donde:

- I_n : Corriente nominal (A)

- I_d : Corriente de diseño (A)
- I_{max} : Corriente máxima admisible (A)
- K: Factor de corrección
- K_t : Factor de corrección por temperatura, ver Tabla 5A del C.N.E. – Utilización.
- K_a : Factor de corrección por agrupamiento, ver Tabla 5C del C.N.E. – Utilización.

Realizando el cálculo y selección de alimentador para el departamento TD-1001_A, tenemos:

- M. D.: 2500 W
- V: 220 V – Monofásico
- L: 69 m
- $\cos \phi$: 0.95
- T_{amb} : 30 °C (Referencial)

$$I_n = \frac{M. D.}{V * \cos \phi}$$

$$I_n = \frac{2500 \text{ W}}{220 \text{ V} * 0.95}$$

$$I_n = 11.96 \text{ A}$$

$$I_d = 1.25 * I_n$$

$$I_d = 1.25 * 11.96$$

$$I_d = 14.95 \text{ A}$$

Utilizaremos para esta iteración el **Cable de 6mm²**, sabiendo que:

- $R_0: 3.08 (\Omega/\text{km})$
- $T_0: 20^\circ\text{C}$
- $I_{\text{max}}: 39 \text{ A}$
- $\alpha: 0.00393(1/^\circ\text{C})$

Calculando:

$$T_{\text{oper}} = T_{\text{amb}} + (T_{\text{max}} - T_{\text{amb}}) * \left(\frac{I_n}{I_{\text{max}}}\right)^2$$

$$T_{\text{oper}} = 30^\circ\text{C} + (90^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) * \left(\frac{11.96}{39 * 0.93 * 0.72}\right)^2$$

$$T_{\text{oper}} = 30^\circ\text{C} + (90^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) * \left(\frac{11.96}{39 * 0.93 * 0.72}\right)^2$$

$$T_{\text{oper}} = 42.59^\circ\text{C}$$

Ahora:

$$R_{\text{oper}} = R_0 * (1 + \alpha * (T_{\text{oper}} - T_0))$$

$$R_{\text{oper}} = 3.08 * \left(1 + 0.00393 * \left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right) * (42.59 - 20)\right)$$

$$R_{\text{oper}} = 3.08 * \left(1 + 0.00393 * \left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right) * (42.59 - 20)\right)$$

$$R_{\text{oper}} = 3.35342 (\Omega/\text{km})$$

Luego:

$$\Delta V = 2 * R_{\text{oper}} * I_d * L * \cos \emptyset$$

$$\Delta V = 2 * \frac{3.35342}{1000} * 14.95 * 69 * 0.95$$

$$\Delta V = 6.57 \text{ V}$$

$$\Delta V \% = 2.99 \% \dots$$

(NO CUMPLE) ☒

Utilizaremos para esta iteración el **Cable de 10mm²**, sabiendo que:

- R_0 : 1.83 (Ω/km)
- T_0 : 20 °C
- T_{max} : 90 °C
- T_{amb} : 30 °C
- I_{max} : 51 A
- α : 0.00393*(1/°C)

Calculando:

$$T_{\text{oper}} = T_{\text{amb}} + (T_{\text{max}} - T_{\text{amb}}) * \left(\frac{I_n}{I_{\text{max}}}\right)^2$$

$$T_{\text{oper}} = 30 \text{ °C} + (90 \text{ °C} - 30 \text{ °C}) * \left(\frac{11.96}{51 * 0.93 * 0.72}\right)^2$$

$$T_{\text{oper}} = 30 \text{ °C} + (90 \text{ °C} - 30 \text{ °C}) * \left(\frac{11.96}{51 * 0.93 * 0.72}\right)^2$$

$$T_{\text{oper}} = 37.36 \text{ °C}$$

Ahora:

$$R_{\text{oper}} = R_0 * (1 + \alpha * (T_{\text{oper}} - T_0))$$

$$R_{oper} = 1.83 * \left(1 + 0.00393 * \left(\frac{1}{\%C} \right) * (37.36 - 20) \right)$$

$$R_{oper} = 1.83 * \left(1 + 0.00393 * \left(\frac{1}{\%C} \right) * (37.36 - 20) \right)$$

$$R_{oper} = 1.95486 (\Omega/\text{km})$$

Luego:

$$\Delta V = 2 * R_{oper} * I_d * L * \cos \emptyset$$

$$\Delta V = 2 * \frac{1.95486}{1000} * 14.95 * 69 * 0.95$$

$$\Delta V = 3.83 \text{ V}$$

$$\Delta V \% = 1.74 \%$$

(CUMPLE) ☒

Además:

$$I_n < I_d < I_{max} * K$$

$$11.96 \text{ A} < 14.95 \text{ A} < 51 * 0.93 * 0.72$$

$$11.96 \text{ A} < 14.95 \text{ A} < 34.15 \text{ A}$$

(CUMPLE) ☒

Entonces el cable seleccionado para el departamento **TD-1001_A será del tipo 2x10 mm2 (F)**

El cálculo y selección de alimentadores detallado por departamento y servicios generales se pueden apreciar en el Apéndice 07.

3.4.2. Medrado bajo metodología tradicional

El metrado de alimentadores se obtendrá del cálculo detallado realizado en la metodología tradicional, para ello también se tendrá en cuenta la “Norma técnica: Metrados para obras de edificación y habilitaciones urbanas” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2011), todo ello se realizará en base a los planos de planta del proyecto.

A continuación, una tabla resumen de metrados bajo metodología tradicional:

Ilustración 8: Metrado bajo metodología tradicional

METODOLOGÍA TRADICIONAL						
	Descripción	Sección	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1.	ALIMENTADORES DE DPTOS.					
1.1.	TORRE A					
1.1.1.	Alimentador	2x6mm2 (F)	m	738.00	S/ 13.60	S/ 10,033.83
1.1.1.	Alimentador	2x10mm2 (F)	m	8,910.00	S/ 17.83	S/ 158,906.87
1.1.1.	Alimentador	2x16mm2 (F)	m	2,620.00	S/ 23.98	S/ 62,828.58
1.2.	TORRE B					
1.2.1.	Alimentador	2x6mm2 (F)	m	-	S/ 13.60	S/ 0.00
1.2.1.	Alimentador	2x10mm2 (F)	m	11,743.00	S/ 17.83	S/ 209,432.48
1.2.1.	Alimentador	2x16mm2 (F)	m	2,608.00	S/ 23.98	S/ 62,540.81
SUBTOTAL --->				26,619.00		S/ 503,742.56
2	ALIMENTADORES DE SS.GG.					
2.1	Alimentador	3x10mm2 (F)	m	-	S/ 26.75	S/ 0.00
2.2	Alimentador	3x16mm2 (F)	m	63.00	S/ 35.97	S/ 2,266.15

2.3	Alimentador	3x25mm2 (F)	m	-	S/ 50.68	S/ 0.00
2.4	Alimentador	3x35mm2 (F)	m	481.00	S/ 64.16	S/ 30,861.07
2.5	Alimentador	3x50mm2 (F)	m	349.00	S/ 76.97	S/ 26,863.64
2.6	Alimentador	3x120mm2 (F)	m	29.00	S/ 167.71	S/ 4,863.53
2.7	Alimentador	3x150mm2 (F)	m	68.00	S/ 196.98	S/ 13,394.63
2.8	Alimentador	2-(3x185mm2) (F)	m	40.00	S/ 426.37	S/ 17,054.63
SUBTOTAL --->				1.030.00	S/ 95,303.66	
				TOTAL --->	S/ 599,046.21	

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla con el sustento de la estimación realizada por sección de alimentador detallado por departamento y servicios generales se pueden apreciar en el Apéndice 08.

En el Apéndice 09 se incluye un diagrama (flujo) para mejor entendimiento de la metodología tradicional aplicada.

3.5. Metodología BIM

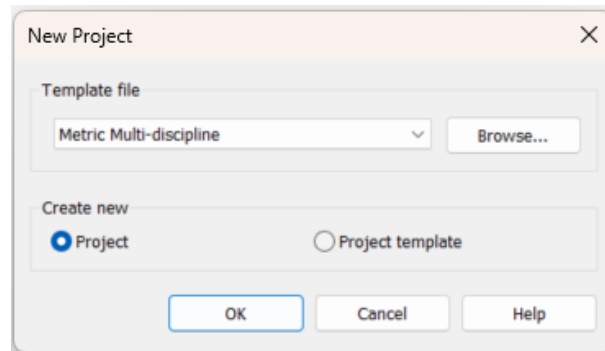
3.5.1. Pasos previos

Para el modelado utilizaremos el software Autodesk Revit 225, este software forma parte del paquete de trabajo colaborativo de Autodesk y ha integrado herramientas de cálculo automatizado de instalaciones eléctricas y metrados o cuantificación de recursos que se utilizaran en el proyecto.

Culminando la instalación del software, generaremos un nuevo proyecto y seleccionamos la plantilla multidisciplinaria, en este caso seleccionamos la plantilla “Metric Multi-discipline”.

Desarrollaremos como base los modelos de las especialidades de estructuras y arquitectura (muros de albañilería), para mayor detalle revisar los Apéndices 01 y 02.

Ilustración 9: Generación de nuevo proyecto en Autodesk Revit 2025

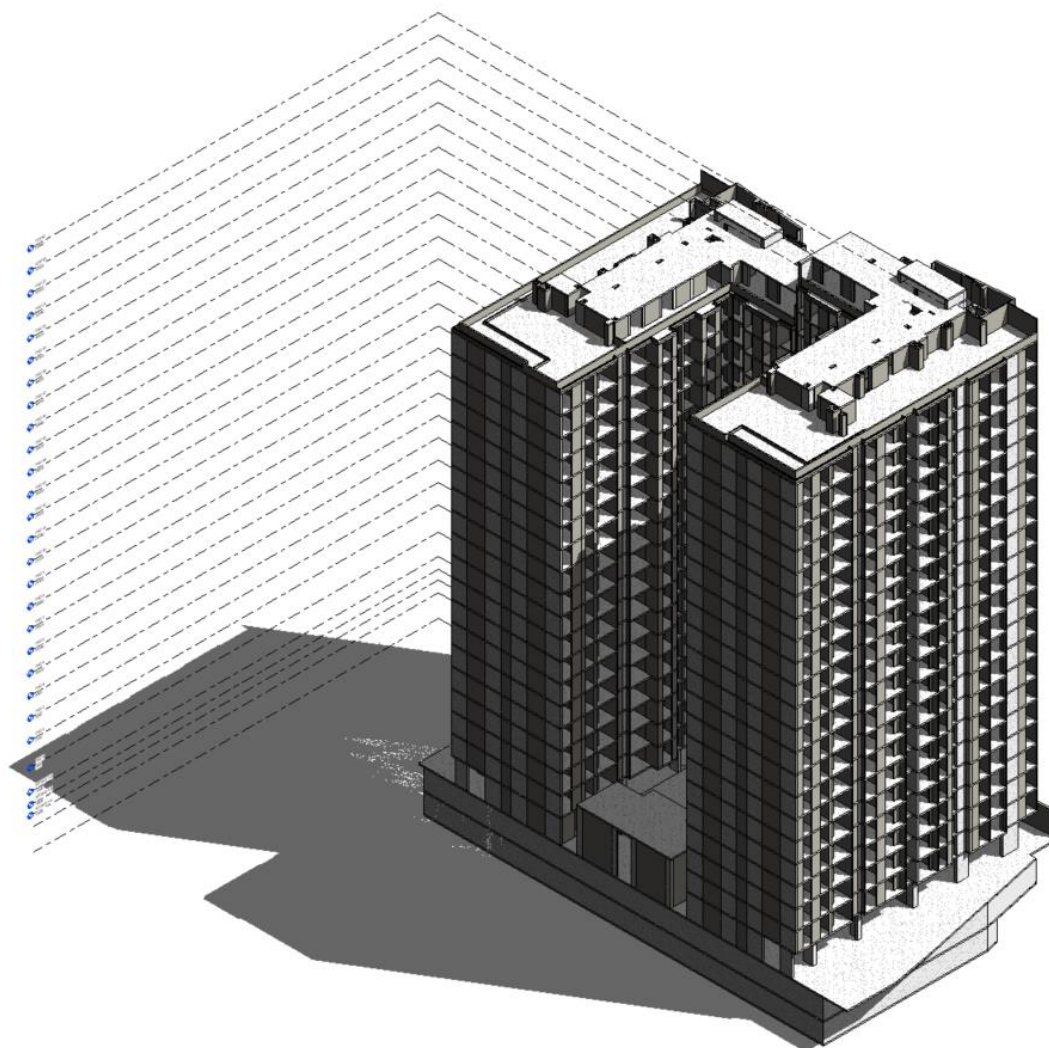


Fuente: Elaboración propia

Definiremos las unidades del proyecto, de preferencia en metros o milímetros, a excepción de las medidas tales como diámetro de tubería las cuales se utilizarán en pulgadas.

Este proyecto contará con 24 niveles más 02 niveles adicionales por sótano y 01 nivel de cuarto de bombas, en base a la planimetría desarrollaremos el alcance de arquitectura y estructuras, teniendo como base el siguiente modelo, el modelo eléctrico vinculado con las especialidades de arquitectura es estructuras se puede apreciar en el Apéndice 04.

Ilustración 10: Modelo base de arquitectura y estructuras



Fuente: Elaboración propia

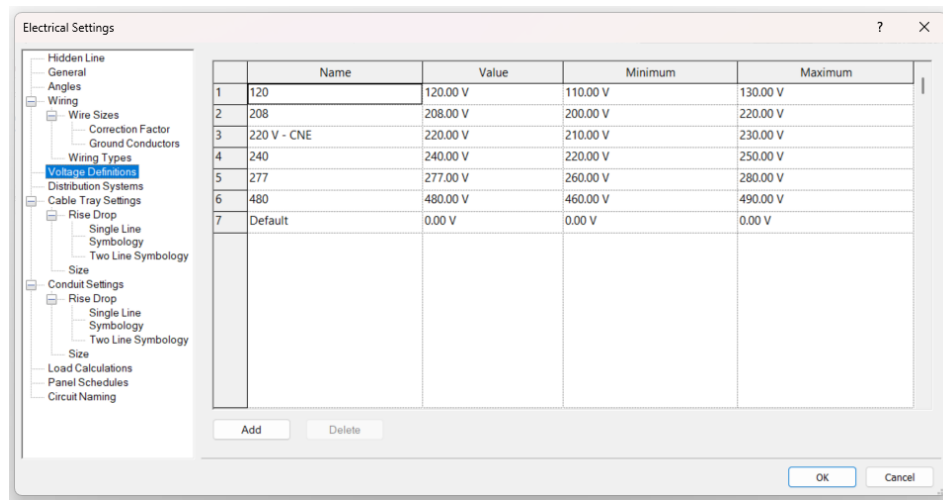
3.5.2. Configuración eléctrica general

El modelado en Autodesk Revit 2025 del alcance de alimentadores eléctricos parte por la definición del sistema eléctricos a utilizar, para ello lo definiremos en:

Manage > MEP Settings > Electrical Settings

En la opción Voltage Definitions; definiremos el nivel de tensión “220 V – CNE” teniendo como valor nominal 220 V, valor mínimo 210 V y valor máximo 230 V.

Ilustración 11: Configurando “Electrical Settings – Voltage Definitions”

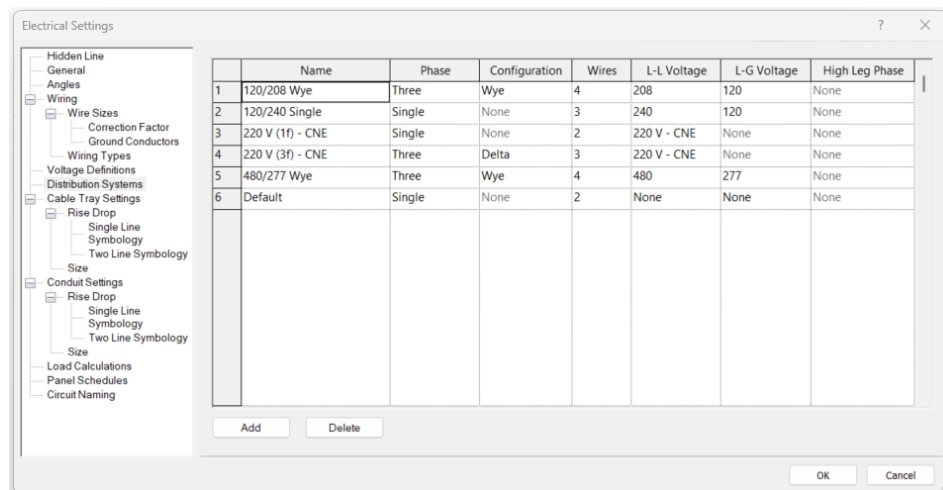


Fuente: Elaboración propia

En la opción Distribution Systems; definiremos los siguientes sistemas:

- 220 V (1f) – CNE: 02 conductores, tensión L-L de 220 V
- 220 V (3f) – CNE: 03 conductores, tensión LL de 220 V, considerando que la tensión trifásica suministrada para el proyecto es bajo configuración Delta.

Ilustración 12: Configurando “Electrical Settings – Distribution Systems”



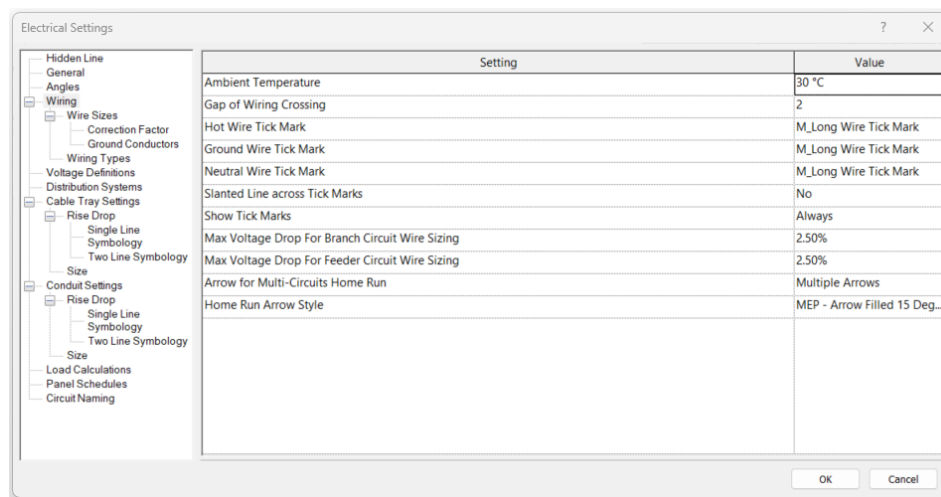
Fuente: Elaboración propia

En la opción Wiring; definiremos los siguientes parámetros:

- Ambient Temperatura: 30 °C
- Max Voltage Drop For Branch Circuit Wire Sizing: 2.50 %
- Max Voltage Drop For Feeder Circuit Wire Sizing: 2.50 %

Considerando que anteriormente mencionamos los valores de caída de tensión máximos permitidos, de acuerdo con la normativa vigente.

Ilustración 13: Configurando “Electrical Settings – Wiring”



Fuente: Elaboración propia

La caída de tensión en Autodesk Revit 2025 se calcula bajo la siguiente formula:

$$V_d = \frac{(L * R * I)}{1000}$$

Donde:

- V_d : Voltage Drop (V)
- L: Length (m)
- R: Electrical resistance (Ω)

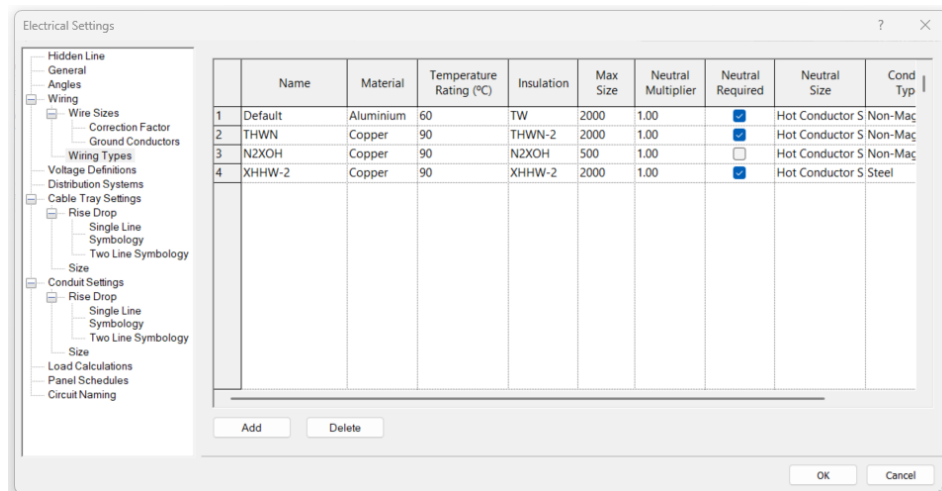
- I: Electrical current (A)

El valor de la resistencia eléctrica responde a un cálculo automatizado por Autodesk Revit 2025 en función de la sección o calibre del cable y el tipo de sistema definido, ya sea trifásico o monofásico, permitiendo así que la formula sea equivalente con las utilizadas en la metodología tradicional.

Definiendo correctamente la configuración inicial nos permitirá obtener tablas de planificación con el listado de circuitos por departamento y servicios generales que forman parte de nuestro alcance.

- Wiring Types; generaremos el tipo de cable que utilizaremos “N2XOH”:

Ilustración 14: Configurando “Electrical Settings – Wiring Types”

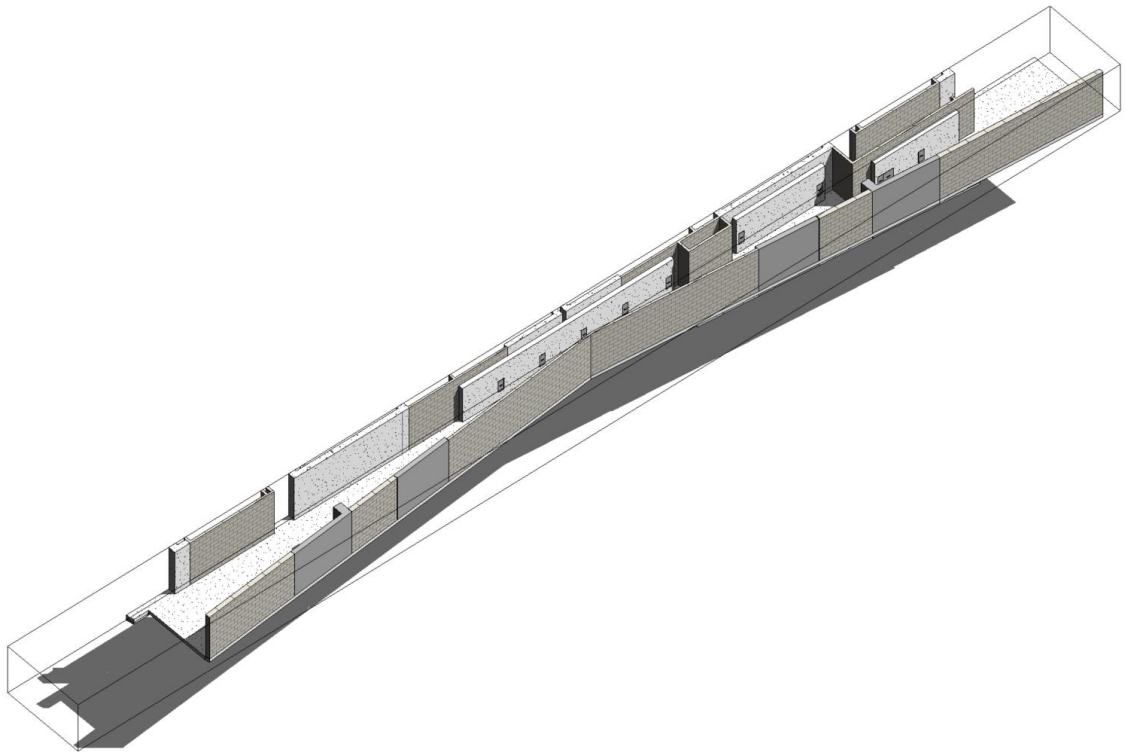


Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Modelado de banco de medidores

Para el proyecto se han definido 20 Banco de Medidores, los cuales albergan entre 12 y 18 medidores de departamentos los cuales contarán con una caja de conexiones del Tipo F1, para servicios generales se contará con una caja de conexiones del Tipo F2, esto de acuerdo con lo indicado por la concesionaria Luz del Sur.

Ilustración 15: Vista 3D de pasaje de Banco de Medidores



Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Modelado de tableros eléctricos

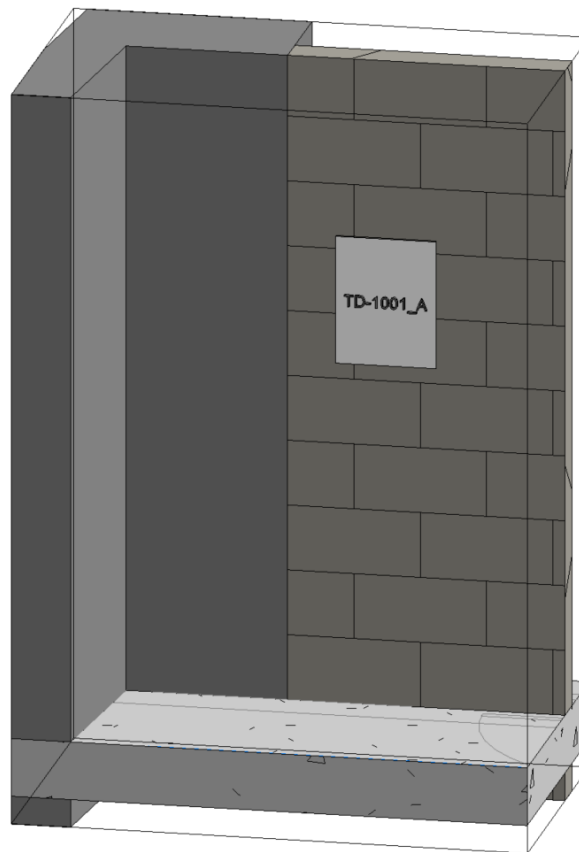
Para el proyecto definiremos los tableros eléctricos que funcionaran bajos los sistemas eléctricos definidos anteriormente, ya sean de suministro monofásico o trifásico.

Ilustración 16: Configurando "Properties" de la familia de tablero eléctrico monofásico

Electrical - Loads	
System Type	Power - Balanced
Number of Poles	2
Power Factor State	Leading
Load Classification	Other
Load Sub-Classification Motor	<input type="checkbox"/>
Voltage	220.00 V

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17: Vista 3D de familia de tablero eléctrico monofásico



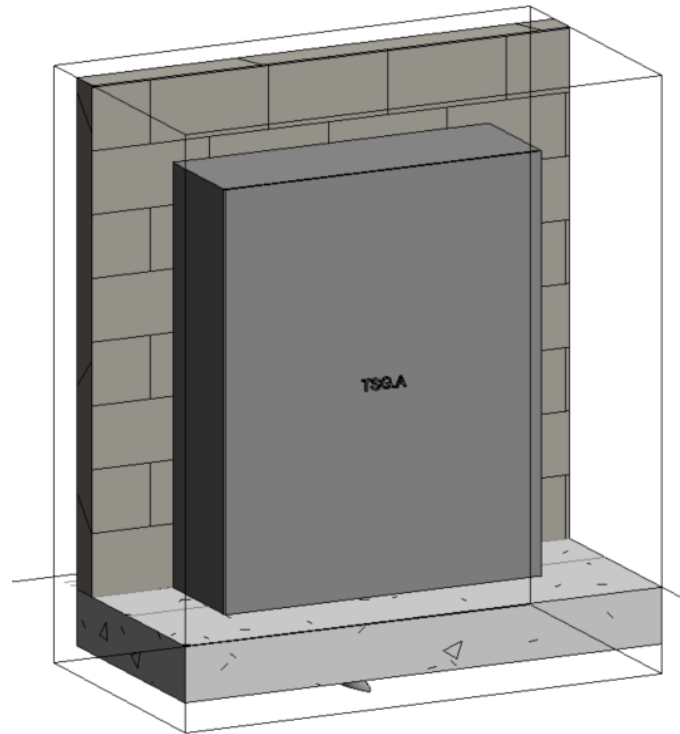
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18: Configurando "Properties" de la familia de tablero eléctrico trifásico

Electrical - Loads	
System Type	Power - Unbalanced
Number of Poles	3
Power Factor State	Lagging
Load Classification	UNI_TSG (SSGG)
Load Sub-Classification Motor	<input type="checkbox"/>
Voltage	220.00 V

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19: Vista 3D de familia de tablero eléctrico trifásico

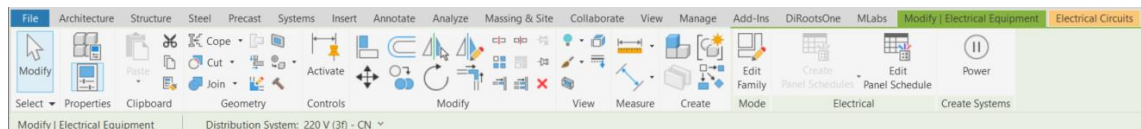


Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Modelado de sistemas de distribución

Una vez culminado la distribución de tableros en cada uno de los niveles del proyecto, generaremos los sistemas asociados a cada banco de medidores con la opción “Power”

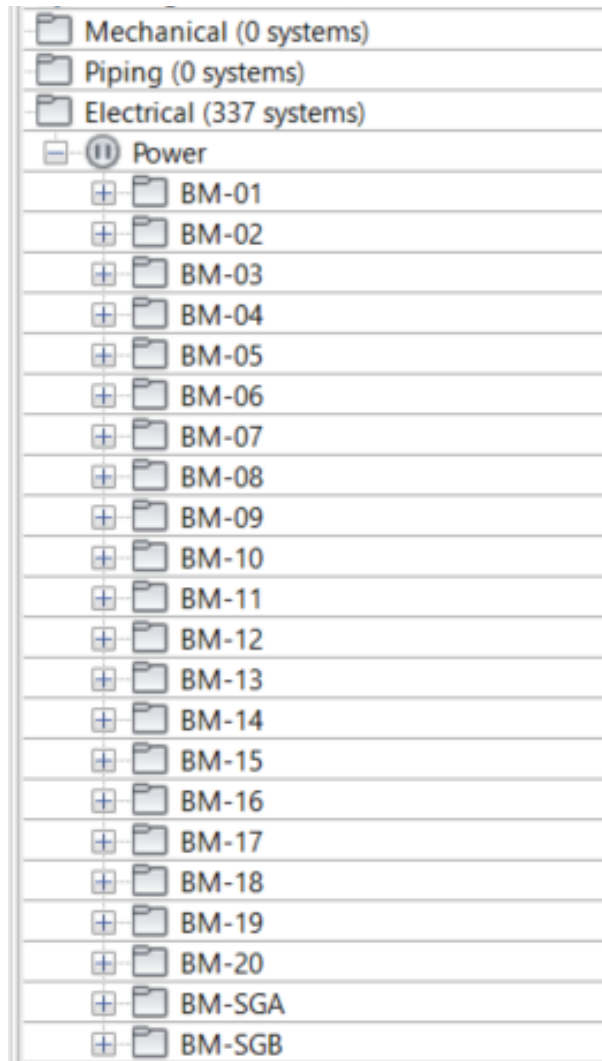
Ilustración 20: Barra de herramientas "Electrical Equipment"



Fuente: Elaboración propia

Debemos asegurarnos de que este correctamente seleccionado la opción “Distribution System”, la asignación se puede corroborar en el panel “System Browser” y se visualizará de la siguiente manera:

Ilustración 21: Vista de panel de navegación “System Browser”



Fuente: Elaboración propia

3.5.6. Modelado de recorrido de alimentadores

Luego de haber generado los enlaces entre los tableros eléctricos y su respectivo banco de medidores, debemos asegurarnos de que el cálculo esté considerado la ruta de cableado adecuada, esto se puede realizar seleccionando el circuito con la opción “Edit Path”, la cual se activa al seleccionar el tablero eléctrico que corresponda.

Ilustración 22: Barra de herramientas "Electrical Circuits"

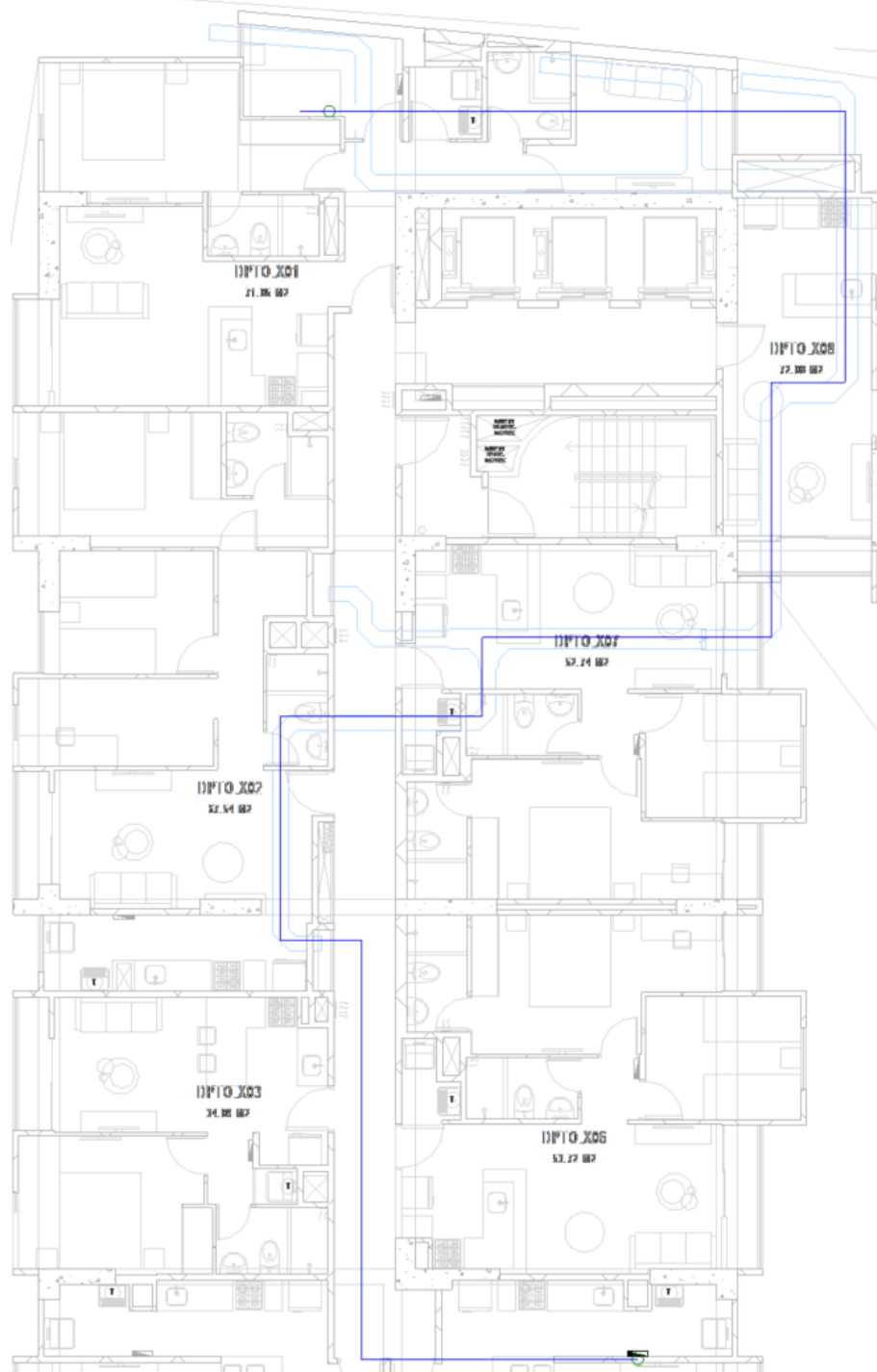


Fuente: Elaboración propia

A continuación, un ejemplo con el TD_1006_A, para el cual se utilizó el recorrido en proyección del nivel 01, teniendo la siguiente ruta:

- Salida de canalización hacia el pasillo común
- Ingreso a ducto de bajada (montante)
- Llegada a Nivel 01, siguiendo el recorrido en proyección hasta el banco de medidores asignado.

Ilustración 23: Ruta de alimentador de departamento



Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizado todos los pasos mencionados, considerando que este se debe realizar en cada tablero eléctrico, podemos generar la tabla de planificación bajo el modelo “Electrical Circuit Schedule”,

en la cual podemos obtener valores de corriente eléctrica de diseño, caída de tensión, porcentaje de caída de tensión y el alimentador seleccionado:

Ilustración 24: Vista de “Electrical Circuit Schedule”

Panel	Load Name	Voltage	Power Factor	Apparent Current	Voltage Drop	% Voltage Drop	Wire Size	Wire Type	Length
BM-01									
BM-01	TD-203_A	220 V	0.95	11.96 A	4.91 V	2.23%	2-#10, 1-#10	NZXOH	53.76
BM-01	TD-204_A	220 V	0.95	11.96 A	5.37 V	2.44%	2-#10, 1-#10	NZXOH	58.78
BM-01	TD-205_A	220 V	0.95	11.96 A	3.67 V	1.67%	2-#8, 1-#8	NZXOH	61.01
BM-01	TD-206_A	220 V	0.95	11.96 A	5.05 V	2.30%	2-#10, 1-#10	NZXOH	55.30
BM-01	TD-303_A	220 V	0.95	11.96 A	5.19 V	2.36%	2-#10, 1-#10	NZXOH	56.81
BM-01	TD-304_A	220 V	0.95	11.96 A	3.78 V	1.72%	2-#8, 1-#8	NZXOH	62.81
BM-01	TD-305_A	220 V	0.95	11.96 A	3.86 V	1.75%	2-#8, 1-#8	NZXOH	64.06
BM-01	TD-306_A	220 V	0.95	11.96 A	5.33 V	2.42%	2-#10, 1-#10	NZXOH	58.36
BM-01	TD-403_A	220 V	0.95	11.96 A	5.42 V	2.46%	2-#10, 1-#10	NZXOH	59.30
BM-01	TD-404_A	220 V	0.95	11.96 A	3.97 V	1.81%	2-#8, 1-#8	NZXOH	66.00
BM-01	TD-405_A	220 V	0.95	11.96 A	4.04 V	1.84%	2-#8, 1-#8	NZXOH	67.09
BM-01	TD-406_A	220 V	0.95	11.96 A	3.70 V	1.68%	2-#8, 1-#8	NZXOH	61.40
BM-01	TD-503_A	220 V	0.95	11.96 A	3.68 V	1.67%	2-#8, 1-#8	NZXOH	61.10
BM-01	TD-504_A	220 V	0.95	11.96 A	4.11 V	1.87%	2-#8, 1-#8	NZXOH	68.25
BM-01	TD-505_A	220 V	0.95	11.96 A	4.16 V	1.89%	2-#8, 1-#8	NZXOH	69.13
BM-01	TD-506_A	220 V	0.95	11.96 A	3.80 V	1.73%	2-#8, 1-#8	NZXOH	63.18
BM-01	TD-602_A	220 V	0.95	11.96 A	5.36 V	2.44%	2-#10, 1-#10	NZXOH	58.64
BM-01	TD-603_A	220 V	0.95	11.96 A	3.86 V	1.75%	2-#8, 1-#8	NZXOH	64.07
BM-01	TD-604_A	220 V	0.95	11.96 A	4.24 V	1.93%	2-#8, 1-#8	NZXOH	70.43
BM-01									1179.50

Fuente: Elaboración propia

La tabla de planificación detallada por departamento y servicios generales se pueden apreciar en el Apéndice 03.

3.5.7. Medrado bajo metodología BIM

Los softwares que utilizan metodología BIM brindan un cálculo automatizado de recursos gracias al uso de las “familias” (Objeto inteligente), las cuales reúnen características no solo físicas, sino también eléctricas.

Una vez culminado el modelado de manera eficiente y correcta, se pueden generar tablas o “Schedules” como la vista anteriormente, las cuales reúnen importantes datos para las siguientes fases del proyecto.

En base a la tabla de planificación que nos brinda Autodesk Revit 2025, podemos obtener el siguiente resumen:

Tabla 8: Metrado bajo metodología BIM

METODOLOGÍA BIM					
	Descripción	Sección	Unidad	Cantidad	Precio S/. Parcial S/.
1.	ALIMENTADORES DE DPTOS.				
1.1.	TORRE A				
1.1.1.	Alimentador	2x6mm2 (F)	m	2,053.78	S/ 13.60 S/ 27,923.13
1.1.1.	Alimentador	2x10mm2 (F)	m	6,698.61	S/ 17.83 S/ 119,467.47
1.1.1.	Alimentador	2x16mm2 (F)	m	2,222.05	S/ 23.98 S/ 53,285.59
1.2.	TORRE B				
1.2.1.	Alimentador	2x6mm2 (F)	m	781.18	S/ 13.60 S/ 10,620.90
1.2.1.	Alimentador	2x10mm2 (F)	m	9,929.06	S/ 17.83 S/ 177,081.46
1.2.1.	Alimentador	2x16mm2 (F)	m	2,210.98	S/ 23.98 S/ 53,020.12
SUBTOTAL --->				23,895.66	S/ 441,398.67
2	ALIMENTADORES DE SS.GG.				
2.1	Alimentador	3x10mm2 (F)	m	51.99	S/ 26.75 S/ 1,390.84
2.2	Alimentador	3x16mm2 (F)	m	59.15	S/ 35.97 S/ 2,127.66
2.3	Alimentador	3x25mm2 (F)	m	411.97	S/ 50.68 S/ 20,878.68
2.4	Alimentador	3x35mm2 (F)	m	306.77	S/ 64.16 S/ 19,682.44
2.5	Alimentador	3x50mm2 (F)	m	-	S/ 76.97 S/ 0.00
2.6	Alimentador	3x120mm2 (F)	m	13.44	S/ 167.71 S/ 2,254.00
2.7	Alimentador	3x150mm2 (F)	m	52.26	S/ 196.98 S/ 10,294.17
2.8	Alimentador	2-(3x185mm2) (F)	m	24.52	S/ 426.37 S/ 10,454.49

SUBTOTAL --->	920.10	S/ 67,082.26
TOTAL --->		S/ 508,480.94

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla con el sustento de la estimación realizada por sección de alimentador detallado por departamento y servicios generales se pueden apreciar en el **Apéndice 08**.

3.5.8. Detección de interferencias

La aplicación de la metodología BIM facilita la detección anticipada de colisiones e interferencias entre los sistemas eléctricos y otras especialidades del edificio, como arquitectura, estructuras, entre otros. Este procedimiento es esencial para prevenir discrepancias en la etapa de construcción y asegurar una integración efectiva de todos los elementos que conforman el edificio.

La detección de interferencias es un proceso clave en la planificación y ejecución de proyectos de construcción, ya que permite identificar y resolver posibles conflictos físicos entre los distintos sistemas del edificio antes de la fase de construcción. Este concepto se refiere específicamente a la identificación de situaciones en las que los componentes de los sistemas eléctricos, como el recorrido del cableado y la ubicación de los tableros eléctricos, entran en conflicto con otros elementos estructurales y arquitectónicos, tales como vigas, ductos, muros y otros componentes constructivos.

Al anticipar estos conflictos en las etapas tempranas del diseño, se pueden realizar los ajustes necesarios antes de la ejecución en obra, evitando modificaciones costosas y retrasos imprevistos. La implementación de la metodología BIM facilita este proceso al permitir la integración y superposición de modelos tridimensionales de distintas especialidades, lo que no solo optimiza la coordinación, sino que también reduce significativamente los costos y los tiempos de construcción.

En este contexto, se presenta a continuación un análisis detallado de la detección de colisiones en el diseño de los alimentadores eléctricos en baja tensión, a través de la comparación de los modelos 3D correspondientes a la especialidad eléctrica con los modelos desarrollados para arquitectura y estructuras.

Tabla 9: Interferencias detectadas entre el modelo eléctrico y el modelo arquitectónico

Ubicación / Elemento	Descripción del conflicto	Impacto de la interferencia	Alternativa de solución
Tablero electrico de departamentos, tipología X08 – Edificio A y B	El tablero electrico de departamentos se encuentra ubicado en un muro de albañilería con espacio insufiente.	Esta interferencia implica una posible reubicación del tablero electrico de departamentos.	Modificar el espesor del muro de albañilería para evitar así cambios en la ubicación del tablero electrico de departamentos.
Tablero electrico de servicios generales – Edificio A y B	El tablero electrico de servicios generales se encuentra ubicado al ingreso de cada torre.	Afectación de la visual de ingreso a cada edicio, generación de impacto visual de cara a los futuros propietarios.	Implementar un acabado arquitectonico que aporte una mejora visual al tablero electrico de servicios generales considerando que debe primar el cumplimiento normativo en dicho cambio menor.
Tablero electrico de servicios generales – Edificio A	El tablero electrico de servicios generales se interfiere con apertura de puerta al ingreso del Edificio A.	Colisión al aperturar la puerta con el tablero electrico de servicios generales	Desplazar e invertir sentido de apertura de puerta en el ingreso del edificio para evitar la colisión con el tablero electrico de servicios generales.
Tablero electrico ubicado en sotanos.	El recorrido del cableado cruza por el hall de ascensores.	Afectación con futuras instalaciones a implementar como parte del diseño general del proyecto y cruce de dinteles de arquitectura.	Precisar recorrido de cableado evitando así interferencias con las futuras instalaciones del proyecto y generar un pase en el dintel arquitectonico en el recorrido del cableado.

Tablero electrico ubicado en cuarto de bombas.	El recorrido del cableado cruza muro de albañilería.	Afectación de canalización adosada del tipo conduit.	Generar un pase en muro para el libre pase de la canalización tipo conduit, evaluar detalle de sellado de pase con elementos cortafuego con el especialista de seguridad.
---	--	--	---

Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de coordinación con el modelo arquitectónico el otro aspecto esencial es que la metodología BIM facilita. El recorrido de los alimentadores eléctricos en baja tensión y la disposición de los tableros eléctricos de departamentos y servicios generales pueden interferir con elementos arquitectónicos, como muros de albañilería, dinteles o incluso afectar la visual arquitectónica esperada del producto inmobiliario. Estas interferencias pueden requerir replanteos que al realizar de manera oportuna pueden generar un menor impacto en el costo directo del proyecto o incluir no generarlos durante la fase de construcción.

Tabla 10: Interferencias detectadas entre el modelo eléctrico y el modelo estructural

Ubicación / Elemento	Descripción del conflicto	Impacto de la interferencia	Alternativa de solución
Tablero electrico de departamentos, tipología X01 – Edificio A y B	El tablero electrico de departamentos se encuentra ubicado unos cm. en colisión con elemento estructural.	Esta interferencia implica una posible reubicación del tablero electrico de departamentos.	Reubicar unos cm. el tablero electrico de departamentos para evitar la colisión, de esta forma la afectación al recorrido de cableado no es significativo no es significativo para el calculo realizado.
Tablero electrico de servicios generales – Edificio A y B	Recorrido de cableado colisiona con elemento estructural.	Modificación de recorrido de cableado.	Cambio menor en el recorrido del cableado para evitar colisión con elemento estructural, este cambio no es significativo para el calculo realizado.

Tablero electrico ubicado en cuarto de bombas.	El recorrido del cableado colisiona con elemento estructural.	Modificación de recorrido de cableado.	Desplazar unos cm. el recorrido del cableado para evitar colisión con elemento estructural, este cambio no es significativo para el calculo realizado.
---	---	--	--

Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de coordinación con el modelo estructural, se identificaron interferencias significativas entre el trazado de los alimentadores en baja tensión y la ubicación de los tableros eléctricos destinados a los departamentos y servicios generales, en relación con los elementos estructurales del proyecto. Estas colisiones, que involucraban vigas, columnas y muros de carga, fueron detectadas gracias a la integración del modelo eléctrico con la estructura en un entorno de modelado tridimensional.

En un enfoque de diseño convencional, basado en planos bidimensionales y sin la aplicación de la metodología BIM, estos conflictos habrían sido difíciles de prever en las etapas iniciales del proyecto, pasando desapercibidos hasta la fase de construcción. Como resultado, habrían surgido complicaciones en la ejecución que requerirían modificaciones en obra, generando retrasos, costos adicionales por materiales y mano de obra, e incluso afectaciones a la funcionalidad del sistema eléctrico.

Gracias a la aplicación de BIM, es posible anticipar estos problemas y proponer soluciones, optimizando la disposición de los alimentadores y tableros sin comprometer la integridad estructural del edificio. Esto evidencia cómo el uso de esta metodología no solo mejora la coordinación interdisciplinaria, sino que también contribuye a una gestión eficiente del presupuesto y los plazos de ejecución, el archivo desarrollado con Autodesk Navisworks se puede apreciar en el Apéndice 05.

En el Apéndice 10 se incluye un diagrama (flujo) para mejor entendimiento de la metodología BIM aplicada.

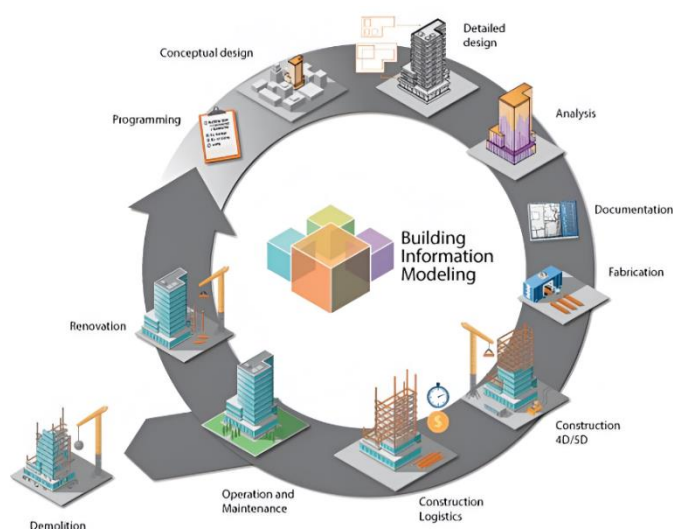
4. Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1. Análisis de los resultados

- ***Objetivo general: Aplicar la metodología BIM para optimizar el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.***

La metodología BIM, fundamentada en un enfoque de colaboración interdisciplinaria, permite la integración de datos y parámetros constructivos en un modelo digital multidimensional. Esta característica esencial facilita a los profesionales de la ingeniería y el diseño, incluyendo especialistas en instalaciones eléctricas, la visualización y el análisis integral del sistema eléctrico en un entorno virtual. La capacidad de simulación y modelado 3D inherente a BIM posibilita la detección temprana de potenciales conflictos de diseño, la optimización de la distribución de componentes y la evaluación del rendimiento del sistema antes de la ejecución física de la obra. Además, la interoperabilidad de BIM, mediante el uso de formatos de intercambio de datos estandarizados, asegura la coherencia y la trazabilidad de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto. La generación automatizada de documentación técnica, como planos, especificaciones y metrados, minimiza el riesgo de discrepancias y errores, contribuyendo a la precisión y la eficiencia en la planificación y la ejecución de proyectos de instalaciones eléctricas

Ilustración 25: Ciclo de la metodología BIM en proyectos inmobiliarios



Fuente: Imagen tomada de (Civil Students 21, 2019)

Uno de los primeros pasos realizado fue un cálculo de la máxima demanda de departamentos y servicios generales del conjunto residencial, pasado luego por la distribución de los tableros eléctricos de departamentos y servicios generales.

- a. Dimensionamiento de alimentadores eléctricos en baja tensión:** Con la información obtenida del cálculo de máxima demanda, se procede al dimensionamiento de los alimentadores eléctricos; utilizando la metodología BIM, se pueden efectuar cálculos exactos para seleccionar los alimentadores apropiados, puesto que una de las restricciones más relevantes al momento de poder examinar sistema eléctrico es la capacidad de corriente en los alimentadores; cada material (en función de su constitución, aislamiento o montaje), posee una corriente máxima admisible; una corriente que excede la corriente admisible puede generar efectos perjudiciales.
- b. Costos directos:** La metodología BIM permite cuantificar con exactitud los materiales necesarios para el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión. Esto ayuda a

elaborar un presupuesto preciso y al mismo tiempo optimiza la administración de recursos durante la ejecución del proyecto.

Al lograr reducir costos y posibles errores, se obtiene un diseño más efectivo que beneficia tanto a los desarrolladores como a los residentes de los conjuntos residenciales.

- c. *Detección de interferencias:*** La implementación de la metodología BIM permite identificar conflictos o interferencias con otras disciplinas en las primeras etapas del diseño. Esto es crítico para evitar inconvenientes durante la ejecución de la construcción lo que finalmente puede ocasionar impacto en el costo y tiempo de ejecución del proyecto.

4.1.1. *Análisis en el diseño*

- *Objetivo específico 1: Aplicar la metodología BIM para mejorar el dimensionamiento y selección de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.*

El diseño y selección de conductores eléctricos en conjuntos residenciales de gran escala es el proceso principal que permite garantizar la eficiencia a nivel energético, la seguridad de la vida y la optimización de los costos asociados. En este estudio se realizó la comparación de la metodología tradicional en contraste con la metodología BIM el método tradicional para el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión.

Se utilizó Autodesk Revit para el modelamiento del sistema eléctrico del conjunto residencial y se comparó con el cálculo manual realizado con herramientas tradicionales como Autodesk AutoCAD y Microsoft Excel.

Tabla 11: Comparativa de resultados obtenidos en la selección de alimentadores eléctricos en baja tensión

Criterio	Metodología tradicional	Metodología BIM	Diferencias
Rango de sección de alimentadores en baja tensión de departamentos	6 mm ² – 16 mm ²	10 AWG – 6 MCM	Sin diferencias en el rango
Rango de sección de alimentadores en baja tensión de servicios generales	16 mm ² – 185 mm ²	8 AWG – 350 MCM	La metodología BIM consideró un calibre más en el rango de 8 AWG o equivalente a 10 mm ²
Material	Cobre	Cobre	Sin diferencias
Aislamiento	N2XOH	N2XOH	Sin diferencias
Reducción en metros de alimentadores en baja tensión de departamentos	26.62 km aprox.	23.90 km aprox.	Se redujo los metros en 10 % aprox.
Reducción en metros de alimentadores en baja tensión de servicios generales	1.03 km aprox.	0.92 km aprox.	Se redujo los metros en 11 % aprox.

Fuente: Elaboración propia

La metodología BIM permitió una selección optimizada de los alimentadores en baja tensión en consecuencia de la precisión en el cálculo de recorridos del cableado.

4.1.2. Análisis del costo directo

- **Objetivo específico 2:** Aplicar la metodología BIM para reducir los metros de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.

La aplicación de la metodología BIM en el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión permite una optimización integral en la selección de alimentadores. Este proceso no se limita al dimensionamiento y trazado del cableado, sino que abarca la cuantificación precisa de materiales y la simulación de su distribución espacial. Dicha precisión facilita la elaboración de metrados detallados y la identificación de posibles conflictos durante la instalación, lo que se traduce en una reducción significativa de los costos directos asociados al proyecto.

Tabla 12: Comparativa de resultados obtenidos en la estimación del costo directo asociado a los alimentadores eléctricos en baja tensión

Criterio	Metodología tradicional	Metodología BIM	Diferencias
Costo directo de alimentadores en baja tensión de departamentos	S/. 503,742.56	S/. 441,398.67	Se obtuvo un ahorro significativo del 12 % aprox.
Costo directo de alimentadores en baja tensión de servicios generales	S/. 95,303.66	S/. 67,082.26	Se obtuvo un ahorro significativo del 30 % aprox.
Total, de costo directo de alimentadores en baja tensión	S/. 599,046.21	S/. 508,480.94	Se obtuvo un ahorro significativo del 15 % aprox.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Análisis detección de interferencias

- *Objetivo específico 3: Aplicar la metodología BIM para identificar de manera temprana las interferencias del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.*

La coordinación entre disciplinas también se ve altamente beneficiada por la implementación de la metodología BIM. En proyectos de gran escala como los de conjuntos residenciales, la coordinación de los sistemas eléctricos con otros sistemas (arquitectura, estructuras, entre otros) puede generar impactos en costo y tiempo debido a los ajustes y correcciones que se deben realizar durante la construcción, sin embargo, la metodología BIM permite que todos los sistemas se diseñen y visualicen en un entorno 3D colaborativo, lo que facilita la detección temprana de interferencias, reduciendo la necesidad de correcciones en fases posteriores. Este ahorro en costos debido a replanteos según sea necesario es otro de los beneficios importantes que se obtienen con la metodología BIM.

La identificación temprana de interferencias representa uno de los principales beneficios que aporta la metodología BIM en el diseño y ejecución de proyectos, especialmente en aquellos de gran escala dentro de conjuntos residenciales. Este hallazgo evidencia cómo la aplicación de la metodología BIM optimiza de manera significativa la coordinación entre los distintos sistemas que conforman el edificio.

En este estudio, se detectaron interferencias entre el recorrido de los alimentadores eléctricos en baja tensión y los tableros eléctricos de departamentos y servicios generales con las especialidades de arquitectura y estructuras.

Por ejemplo, en el análisis realizado se encontró que el recorrido de los alimentadores eléctricos cruzaba elementos estructurales, lo que habría generado conflictos durante la construcción si no se hubieran identificado. Uno de los aspectos más valiosos de este proceso es que, al utilizar la metodología BIM, los equipos de diseño eléctrico, arquitectura, estructuras, y demás especialidades pueden trabajar con un

modelo 3D en un entorno colaborativo que facilita la coordinación. Todos los sistemas son visualizados en una sola plataforma, lo que permite detectar interferencias antes de que se produzcan en el terreno. Este enfoque no solo mejora la precisión del diseño, sino que también optimiza el trabajo multidisciplinario y permite que los equipos de diferentes especialidades se comuniquen de manera más eficaz, lo que minimiza los posibles errores y malentendidos.

4.2. Contrastación de la hipótesis

- *Hipótesis general: La aplicación de la metodología BIM optimizará significativamente el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.*

Esta hipótesis es aceptada al evidenciar que la aplicación de la metodología BIM no solo optimiza el dimensionamiento y la selección de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales, sino que también genera mejoras sustanciales en la estimación de costos directos y facilita la detección temprana de colisiones interdisciplinarias. La anticipación de estas interferencias, mediante la simulación y el modelado 3D, permite mitigar los riesgos de sobrecostos y retrasos en las fases subsiguientes del proyecto. En consecuencia, se confirma la eficacia de BIM como herramienta para la gestión integral de proyectos de instalaciones eléctricas, al proporcionar una mayor precisión en la planificación, ejecución y control de estos.

- *Hipótesis específica 1: La aplicación de la metodología BIM mejora significativamente el dimensionamiento y selección de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.*

Esta hipótesis se acepta en la medida en que con la metodología BIM durante el desarrollo del capítulo III, se evidenció que mientras que con la metodología tradicional se requería realizar cálculos manuales, con la metodología BIM todo este proceso quedo automatizado y de forma integrada en el modelo 3D del proyecto.

- *Hipótesis específica 2: La aplicación de la metodología BIM reduce significativamente los metros de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.*

Esta hipótesis es aceptada, durante el desarrollo del presente capítulo se evidenció que con la aplicación de la metodología BIM se puede estimar un ahorro del 15% en el costo directo asociado a los alimentadores eléctricos en baja tensión de departamentos y conjuntos residenciales en función a los metros obtenidos.

- *Hipótesis específica 3: La aplicación de la metodología permitirá identificar de manera temprana las interferencias del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión para departamentos y servicios generales de conjuntos residenciales.*

Esta hipótesis es aceptada, durante el desarrollo del capítulo III, se expuso el detalle de interferencias identificadas con los modelos de arquitectura y estructuras de manera oportuna lo cual puede generar impactos en tiempo y costo en las siguientes fases del proyecto.

Conclusiones

De la hipótesis general, la implementación de la metodología BIM en el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión ha evidenciado un progreso notable en relación con los métodos tradicionales. En el análisis realizado sobre un Conjunto Residencial, se evidenció que la metodología BIM no solo optimiza el diseño de sistemas eléctricos, sino que también genera una serie de beneficios en términos de optimización, costos y detección de interferencias, los cuales son fundamentales en proyectos de gran escala. Una de las principales ventajas que ofrece BIM es la optimización de la selección de alimentadores eléctricos en baja tensión.

De la hipótesis específica 1, al realizar un modelamiento más preciso y detallado en plataformas como Autodesk Revit, la metodología BIM facilitó la reducción de las secciones de los alimentadores eléctricos en baja tensión sin comprometer la seguridad ni el desempeño del sistema. En términos prácticos, los conductores que en el método tradicional variaban entre 6mm^2 y 185mm^2 , con la metodología BIM fueron optimizados a consecuencia de la precisión en el recorrido de estos circuitos considerando que se obtuvieron secciones en rango similar, como resultado de este ajuste se obtuvo un uso más eficiente y efectivo de los materiales empleados en el proyecto.

Como se puede observar en el cálculo detallado al comparar el cálculo y selección de alimentadores eléctricos en baja tensión, ambos cálculos cumplen lo establecido en la normativa, debido a ello es necesario que el ingeniero especialista finalmente elija la solución que más se ajuste a su criterio técnico y normativo.

De la hipótesis específica 2, En cuanto a la reducción del costo directo de las partidas del presupuesto asociadas, la metodología BIM demostró ser una herramienta eficiente para lograr un ahorro significativo en la compra de materiales. El uso de la metodología permitió una reducción de hasta el 15%

en los costos de materiales en comparación con los métodos tradicionales. Este impacto en los costos directos no solo se traduce en un beneficio económico, sino que también contribuye a la sostenibilidad del proyecto, al reducir el uso de recursos y materiales innecesarios, alineándose con los principios de construcción responsable.

El software Autodesk Revit aún no posee la capacidad para abarcar las actividades generales relacionadas que tiene por alcance el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión, el mismo no cuenta con la bondad para generar diagramas unifilares de manera automática, cálculos de puesta a tierra y la opción de seleccionar unidades en mm² limitándose así a solo utilizar unidades AWG para la sección de conductores, debido a ello es necesario en ocasiones salir del entorno para realizar cálculos manuales.

De la hipótesis específica 3, en términos generales, la metodología BIM no logra solamente la optimización de la planificación y ejecución de proyectos eléctricos, sino que también mejora la calidad del diseño y facilita una gestión eficiente de los recursos. La detección temprana de posibles conflictos entre sistemas y la coordinación entre disciplinas reducen la posibilidad de errores costosos durante la construcción y garantizan que el proyecto se desarrolle de manera fluida. Asimismo, el enfoque integral que proporciona BIM contribuye a que los proyectos sean más rentables, sostenibles y eficientes.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado, la metodología BIM y la metodología tradicional se complementan en la fase de diseño, obteniendo con esta última ventaja adicionales en las fases de diseño y optimización en costos directos para las siguientes fases del proyecto.

Recomendaciones

Dado el impacto positivo que la metodología BIM presenta en la optimización del diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión, se recomienda que los miembros del equipo de diseño en proyectos de conjuntos residenciales de gran escala adopten la metodología BIM de manera general en cada una de las fases del proyecto, desde la factibilidad hasta la puesta en marcha y/o entrega de proyecto. Esta implementación no solo mejorará la selección precisa de materiales, sino que también reducirá los costos directos y aumentará la eficiencia del proyecto en general. Para que esta recomendación sea efectiva, es fundamental que las empresas y los equipos de diseño inviertan en capacitación especializada en herramientas BIM, como Autodesk Revit, Autodesk Navisworks y otras soluciones integradas que permiten realizar análisis detallados de los sistemas eléctricos. La capacitación debe enfocarse tanto en la creación de modelos precisos como en la optimización de materiales y el cálculo de parámetros MEP, asegurando que los proyectistas comprendan cómo utilizar las funcionalidades avanzadas de la metodología BIM.

Además, es recomendable que los equipos involucrados en los proyectos adopten un enfoque colaborativo entre las diferentes disciplinas (electricidad, arquitectura, estructuras entre otros) dentro del entorno colaborativo BIM. De esta manera, los proyectistas electricistas podrán trabajar de manera más coordinada con las demás especialidades, lo que reducirá la posibilidad de errores de diseño y garantizará que los sistemas eléctricos sean integrados de manera efectiva en el proyecto. Finalmente, se sugiere que las empresas y los equipos de diseño realicen un análisis económico y de costo-beneficio para evaluar el impacto que la implementación de la metodología BIM tiene en términos de ahorros a largo plazo por optimización de materiales, reducción de tiempos de diseño y mejora de la eficiencia operativa. Este análisis ayudará a justificar la inversión inicial en capacitación y en la adopción de las tecnologías necesarias, destacando el potencial ahorro que representa la metodología BIM para proyectos futuros.

Debido a que es necesario establecer una correcta configuración inicial de todo el sistema eléctrico que se simulará bajo la metodología BIM se requerirá de profesionales que cuenten con conocimiento técnico de diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión y capacitados en el uso de software BIM, deberán ser capaces de entender los parámetros que se encuentran configurados para que los resultados obtenidos sean acordes a lo esperado y validos, debido a la constante mejora de los software BIM es preciso mantenerlos actualizados a la última versión vigente.

Basado en los beneficios de la detección anticipada de colisiones e interferencias mediante la metodología BIM en el diseño de alimentadores eléctricos en baja tensión, se recomienda la integración completa de BIM en el proceso de coordinación interdisciplinaria desde las primeras fases de diseño. Esto permitirá no solo evitar errores y retrasos costosos durante la fase de construcción, sino también mejorar la calidad y precisión del proyecto en general. Esta colaboración garantizará que las interferencias entre especialidades sean identificadas de manera temprana, lo que permite que los equipos hagan los ajustes necesarios en el diseño sin comprometer la calidad del proyecto ni generar modificaciones costosas o retrabajos. Además, es fundamental que los proyectos incluyan sesiones de revisión regular con los equipos de todas las disciplinas involucradas, para asegurar que cualquier conflicto detectado sea discutido, resuelto y actualizado de manera eficiente. Esta interacción temprana entre los diferentes proyectistas minimiza los riesgos de errores de coordinación que podrían afectar la seguridad y funcionalidad de los sistemas del edificio.

Se recomienda que los líderes de proyecto y gestores de construcción establezcan un protocolo de gestión de cambios dentro del entorno BIM. Este protocolo permitirá realizar un seguimiento de las modificaciones y ajustes realizados al modelo original para garantizar que todos los equipos tengan acceso a la versión más actualizada del diseño y que cualquier cambio realizado se evalúe en términos de su impacto sobre los demás sistemas.

Referencias bibliográficas

Beeman, D. (1955). *Industrial Power Systems*.

Civil Students 21. (2019). Obtenido de ¿Qué es la tecnología BIM?:

<https://www.facebook.com/CivilStudents21/posts/qu%C3%A9-es-la-tecnolog%C3%ADa-bimbim-son-las-siglas-de-building-information-modeling-una-/666492777107361/>

Diario El Peruano. (2019). *DS N° 289-2019-EF: Aprueban disposiciones para la incorporación progresiva de BIM en la inversión pública*. Obtenido de

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/359371/DS289_2019EF.pdf?v=1568130226

Diario El Peruano. (2021). *DS N° 108-2021-EF: Modifican el Decreto Supremo N° 2892019-EF, Aprueban disposiciones para la incorporación progresiva de BIM en la inversión pública*.

Obtenido de

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1895330/DS108_2021EF.pdf.pdf?v=1621264880

Engelbart, D. (1962). *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*. Obtenido de

<https://www.dougenelbart.org/content/view/138>

Hidalgo Alvarado, L. G., & Marcillo Marcillo, M. M. (2018). *ANÁLISIS DE CARGA EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES PARA VALORAR POSIBLES SOLUCIONES QUE*

PERMITAN CORREGIR EL SERVICIO ELÉCTRICO A LA COMUNIDAD JACAY. Obtenido de
<https://repositorio.uileam.edu.ec/bitstream/123456789/2093/1/ULEAM-IEL-0034.pdf>

International Electrotechnical Commission. (2005). *IEC 60364: Low-voltage electrical installations*.

International Electrotechnical Commission. (2009). *IEC 60038: Standard voltages*.

International Electrotechnical Commission. (2015). *IEC 60898-1: Electrical accessories - Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations - Part 1: Circuit-breakers for a.c. operation*.

International Electrotechnical Commission. (2024). *IEC 60947-2: Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2: Circuit-breakers*.

International Organization for Standardization. (2021). *ISO 19650: Building Information Modelling*.

Konstruedu. (2023). Obtenido de Contexto BIM en el Perú:
<https://konstruedu.com/es/blog/contexto-bim-en-el-peru>

Mallqui Saravia, B. (2018). *MEJORAMIENTO EN LA GESTIÓN DE UN PROYECTO DURANTE SU EJECUCIÓN, UTILIZANDO EL MODELO BIM*. Obtenido de
https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/14737/1/mallqui_sb.pdf

Ministerio de Economía y Finanzas. (2019). *Plan Nacional de Competitividad y Productividad*. Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/348293/DS_237-2019-EF_ACCESIBLE.pdf?v=1564579873

Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). *Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM*

Perú. Obtenido de

https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo_RD0002_2021EF6301.pdf

Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). *Nota Técnica de Introducción BIM: Adopción en la*

inversión pública. Obtenido de

https://www.mef.gob.pe/planbimperu/docs/recursos/nota_tecnica_bim.pdf

Ministerio de Economía y Finanzas. (2023). *Guía Nacional BIM Perú*. Obtenido de

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4333290/Gu%C3%ADa%20Nacional%20de%20BIM%20-%20Gesti%C3%B3n%20de%20la%20informaci%C3%B3n%20para%20inversiones%20desarrolladas%20con%20BIM.pdf?v=1680013516>

Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Código Nacional de Electricidad: Utilización*. Obtenido de

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898623/C%C3%B3digo_Nacional_de_Electricidad__Utilizaci%C3%B3n_.pdf

Ministerio de Energía y Minas. (2007). *Manual de interpretación del Código Nacional de*

Electricidad: Suministro 2001. Obtenido de

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5324342/4773521-manual-de-interpretacion-del-codigo-nacional-de-electricidad-suministro-2001.pdf?v=1698190472>

Ministerio de Energía y Minas. (2008). *Manual de sustentación del Código Nacional de*

Electricidad: Utilización 2006. Obtenido de

<https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/normatividad/ManualCNEUtilizacion.pdf>

Ministerio de Energía y Minas. (2011). *Código Nacional de Electricidad: Suministro*. Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898589/C%C3%B3digo_Nacional_de_Electricidad__Suministro_2011_.pdf?v=1593533921

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2011). *Norma técnica: Metrados para obras de edificación y habilitaciones urbanas*. Obtenido de <https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Mayo/18/RD-073-2010-VIVIENDA-VMCS-DNC.pdf>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). Obtenido de Ministerio de Vivienda implementa vivienda de interés social priorizada para familias de escasos recursos: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/502687-ministerio-de-vivienda-implementa-vivienda-de-interes-social-priorizada-para-familias-de-escasos-recursos>

National Fire Protection Association. (2023). *NFPA 70: National Electrical Code (NEC)*.

Nexans. (s.f.). Obtenido de FREETOX N2XOH 0,6/1 kV Unipolares: https://luzycolor.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/FREETOX_N2XOH_0_6_1_kV_Unipolares.pdf

Pérez González, L. A. (2019). *POSIBILIDADES DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA INGENIERÍA CIVIL*. Obtenido de https://oa.upm.es/54370/2/TFM_LUIS_AUGUSTO_PEREZ_GONZALEZ.pdf

Rodriguez Guerra, K. (2024). *ANÁLISIS DEL EXPEDIENTE TÉCNICO PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA TOMA DE DECISIONES MEDIANTE LA METODOLOGÍA BIM EN LA ETAPA DE EJECUCIÓN*

DEL HOSPITAL DE PANGOA. Obtenido de

[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14490/2/IV_FIN_105_T
E_Rodriguez_Guerra_2024.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14490/2/IV_FIN_105_T
E_Rodriguez_Guerra_2024.pdf)

SADE. (2020). Obtenido de ¿Conoce el BIM?: [https://www.sade-cgth.fr/es/blog/innovation-
es/conoce-el-bim/](https://www.sade-cgth.fr/es/blog/innovation-es/conoce-el-bim/)

Soto Abregu, K. (2020). *IMPLEMENTACIÓN VISUAL DEL SISTEMA LAST PLANNER MEDIANTE EL
MODELADO BIM EN LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO: CENTRO COMERCIAL LA ESTACIÓN*.
Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11022>

Turpo Anchapari, E. (2020). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM PARA MEJORAR EL
DESEMPEÑO DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN LA ESTACIÓN SUBTERRÁNEA DE LA
LÍNEA 2 DEL METRO DE LIMA - 2020*. Obtenido de
[https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25178/Turpo%20Anchapuri%2
c%20Esteban_parcial.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25178/Turpo%20Anchapuri%2
c%20Esteban_parcial.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Villavicencio Gutiérrez, M. (2024). *MEJORA DE LA GENERACIÓN DE POTENCIA DE UNA TURBINA
EÓLICA BASADA EN EL DISEÑO DE UN ALGORITMO DE CONTROL DIFUSO Y EVOLUTIVO*.
Obtenido de
https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/27339/1/villavicencio_gm.pdf

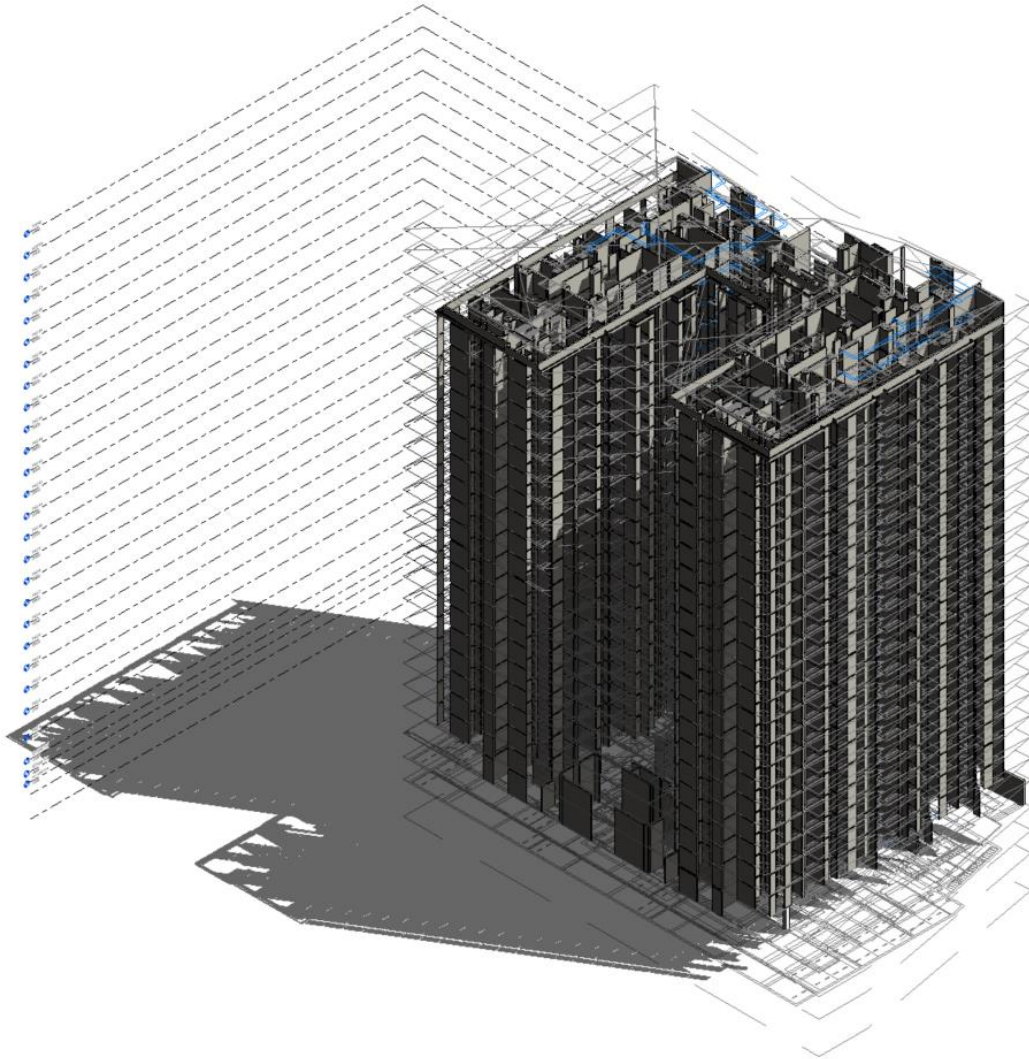
Anexos

Tabla de apéndices

Apéndice 1: Modelo arquitectónico desarrollado en Autodesk Revit 2025.....	2
Apéndice 2: Modelo estructural desarrollado en Autodesk Revit 2025.....	3
Apéndice 3: Modelo eléctrico desarrollado en Autodesk Revit 2025.	4
Apéndice 4:Modelo eléctrico vinculado con los modelos de arquitectura y estructuras desarrollado en Autodesk Revit 2025.	5
Apéndice 5: Modelo integrado desarrollado en Autodesk Navisworks 2025.	6
Apéndice 6: Calculo detallado de máxima demanda.....	7
Apéndice 7: Calculo y selección de alimentadores de departamentos y servicios generales.....	10
Apéndice 8: Tabla comparativa de estimación de costos entre metodología tradicional y metodología BIM.	13
Apéndice 9: Diagrama de flujo - Metodología tradicional.....	16
Apéndice 10: Diagrama de flujo - Metodología BIM	17

Apéndice 1

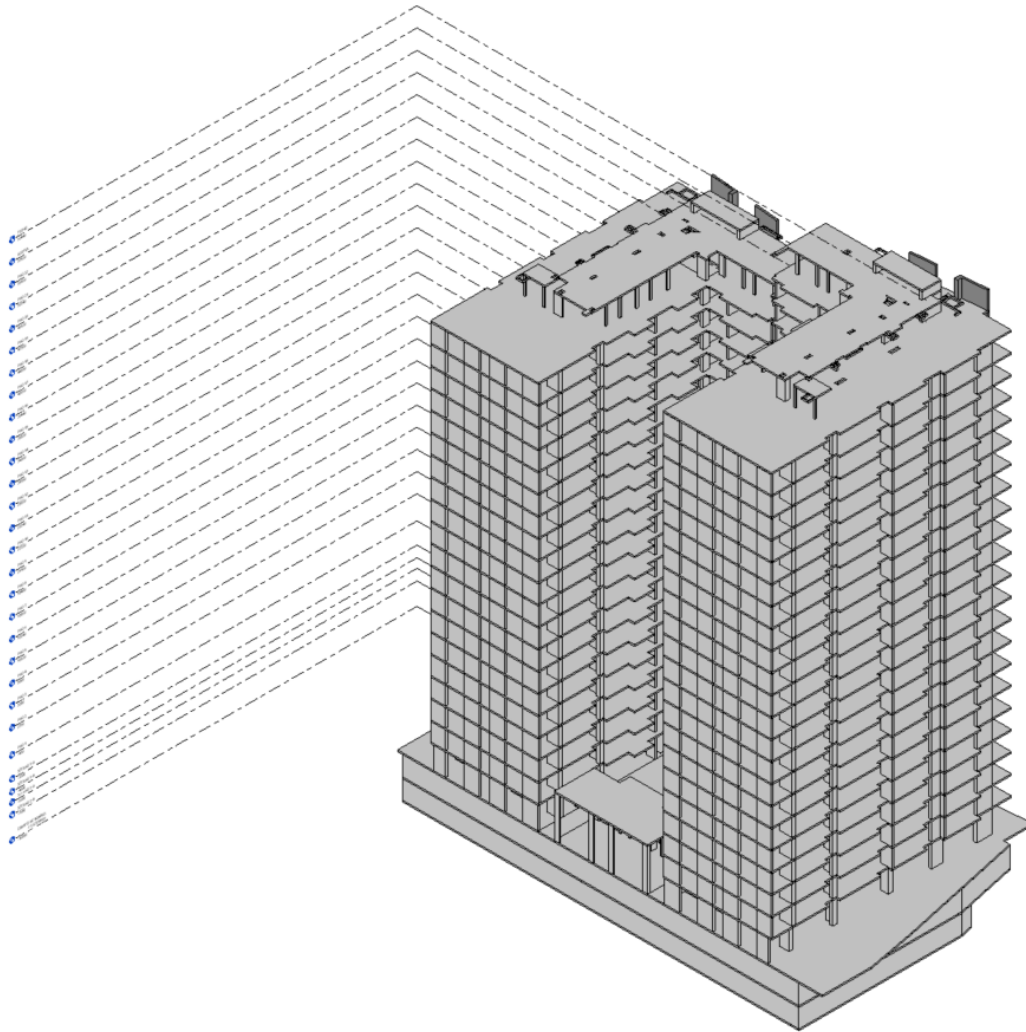
Apéndice 1: Modelo arquitectónico desarrollado en Autodesk Revit 2025.



Nota: Ver detalle en entregable digital ARQ.

Apéndice 2

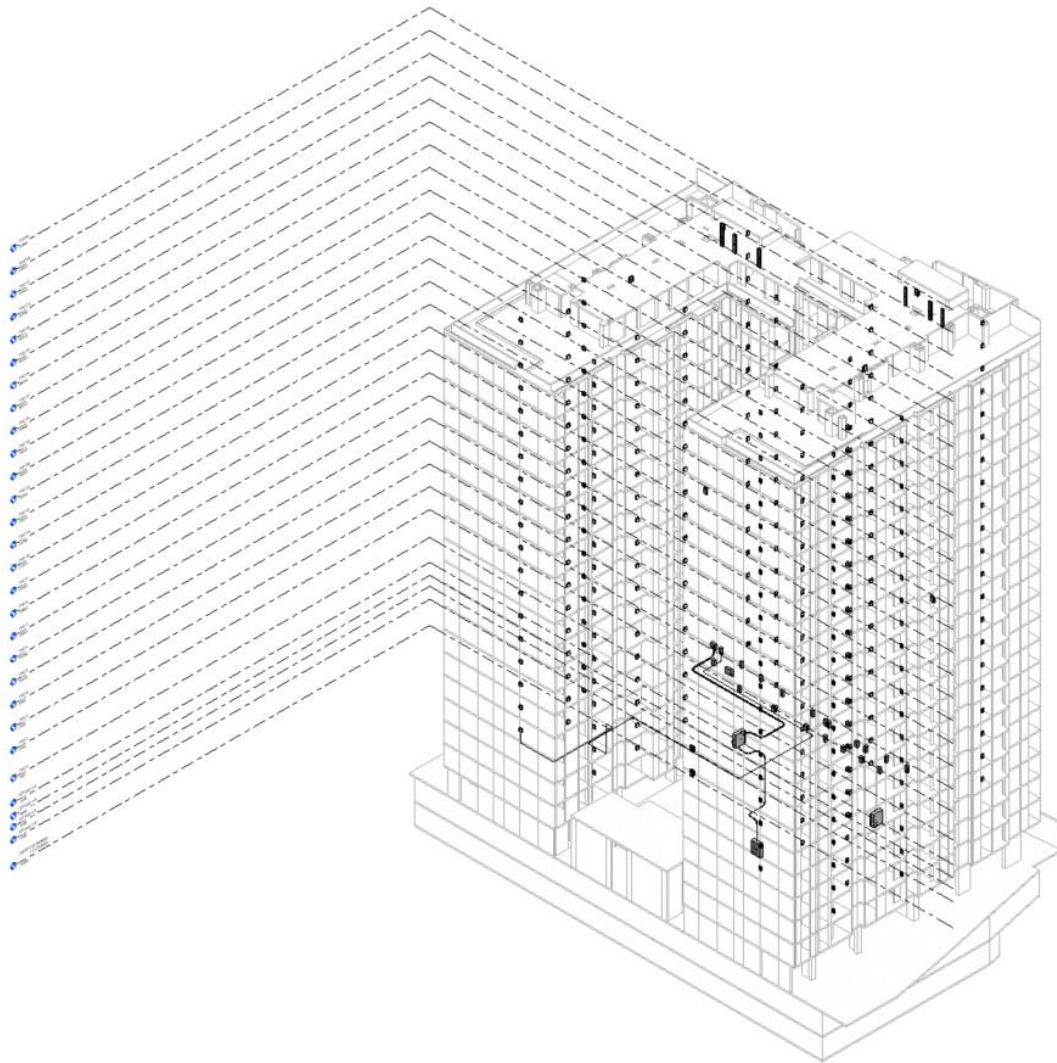
Apéndice 2: Modelo estructural desarrollado en Autodesk Revit 2025.



Nota: Ver detalle en entregable digital EST.

Apéndice 3

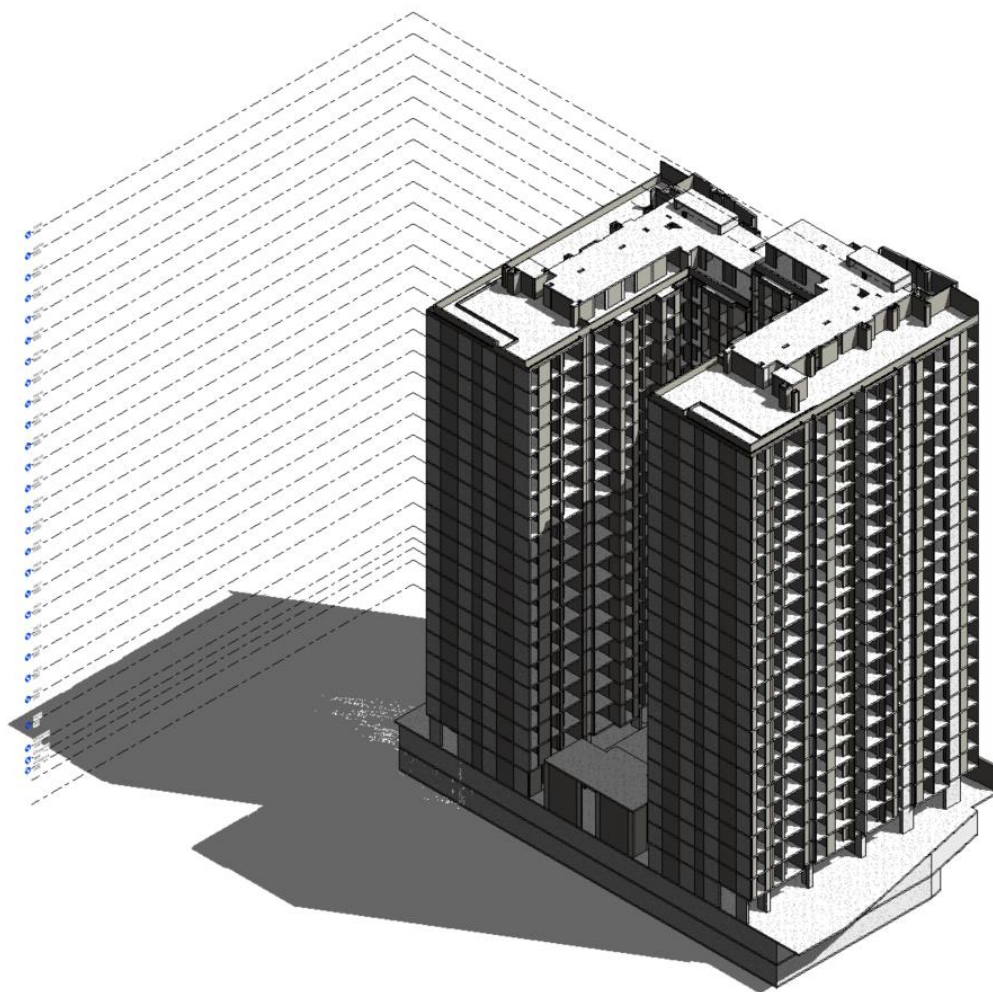
Apéndice 3: Modelo eléctrico desarrollado en Autodesk Revit 2025.



Nota: Ver detalle en entregable digital ELE.

Apéndice 4

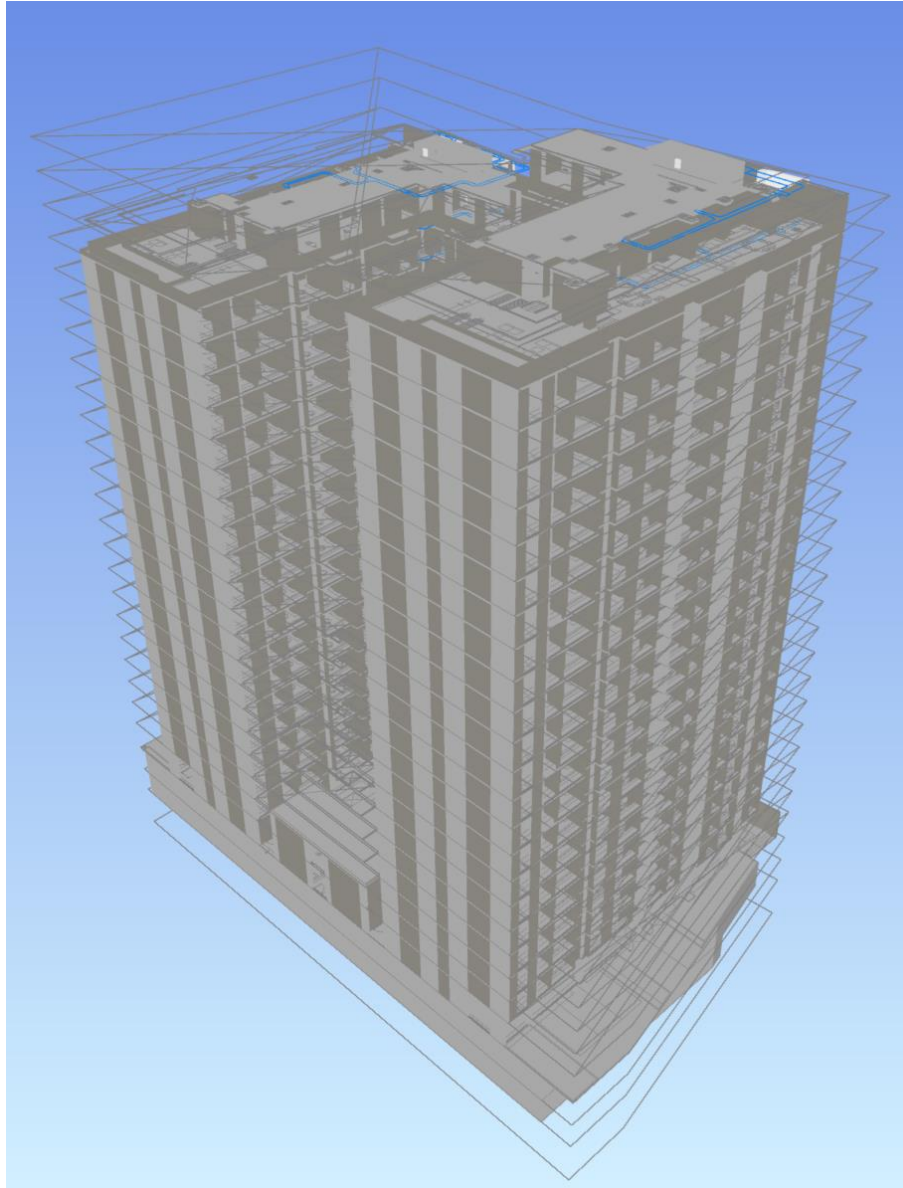
Apéndice 4: Modelo eléctrico vinculado con los modelos de arquitectura y estructuras desarrollado en Autodesk Revit 2025.



Nota: Ver detalle en entregable digital ELE, Vista 3D de "Coordination".

Apéndice 5

Apéndice 5: Modelo integrado desarrollado en Autodesk Navisworks 2025.



Nota: Ver detalle en entregable digital COORDINATION.

Apéndice 6

Apéndice 6: Calculo detallado de máxima demanda

RESUMEN DE CARGAS PROYECTO "REAL"	
DESCRIPCIÓN	M.D. (W)
DEPARTAMENTOS - EDIFICIO A	101,500.00
DEPARTAMENTOS - EDIFICIO B	111,500.00
SERVICIOS GENERALES - EDIFICIO A	122,187.60
SERVICIOS GENERALES - EDIFICIO B	50,235.75
TOTAL	385,423.35

CUADRO DE CARGAS DE DEPARTAMENTOS DEL PROYECTO "REAL" - EDIFICIO B								
BANCO DE MEDIDORES	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN	CANT. DE DPTOS.	DESCRIPCIÓN	C.U. (W)	Cantidad	C.I. (W)	F.D.	M.D. (W)
BM-11	TD-203, TD-204, TD-205, TD-206, TD-303, TD-304, TD-305, TD-306, TD-403, TD-404, TD-405, TD-406.	12.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-12	TD-503, TD-504, TD-505, TD-506, TD-603, TD-604, TD-605, TD-606, TD-703, TD-704, TD-705, TD-706, TD-803, TD-804, TD-805, TD-806, TD-903, TD-904.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-13	TD-905, TD-906, TD-1003, TD-1004, TD-1005, TD-1006, TD-1103, TD-1104, TD-1105, TD-1106, TD-1203, TD-1204, TD-1205, TD-1206, TD-1303, TD-1304, TD-1305, TD-1306.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-14	TD-1403, TD-1404, TD-1405, TD-1406, TD-1503, TD-1504, TD-1505, TD-1506, TD-1603, TD-1604, TD-1605, TD-1606, TD-1703, TD-1704, TD-1705, TD-1706, TD-1803, TD-1804.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-15	TD-1805, TD-1806, TD-1903, TD-1904, TD-1905, TD-1906, TD-2003, TD-2004, TD-2005, TD-2006, TD-2103, TD-2104, TD-2105, TD-2106, TD-2203, TD-2204, TD-2205, TD-2206.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-16	TD-201, TD-202, TD-207, TD-208, TD-301, TD-302, TD-307, TD-308, TD-401, TD-402, TD-407, TD-408, TD-501, TD-502, TD-507, TD-508, TD-601, TD-602.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-17	TD-607, TD-608, TD-701, TD-702, TD-707, TD-708, TD-801, TD-802, TD-807, TD-808, TD-901, TD-902, TD-907, TD-908, TD-1001, TD-1002, TD-1007, TD-1008.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-18	TD-1101, TD-1102, TD-1107, TD-1108, TD-1201, TD-1202, TD-1207, TD-1208, TD-1301, TD-1302, TD-1307, TD-1308, TD-1401, TD-1402, TD-1407, TD-1408, TD-1501, TD-1502.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-19	TD-1507, TD-1508, TD-1601, TD-1602, TD-1607, TD-1608, TD-1701, TD-1702, TD-1707, TD-1708, TD-1801, TD-1802, TD-1807, TD-1808, TD-1901, TD-1902, TD-1907, TD-1908.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-20	TD-2001, TD-2002, TD-2007, TD-2008, TD-2101, TD-2102, TD-2107, TD-2108, TD-2201, TD-2202, TD-2207, TD-2208.	12.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
		168.00						
LA UNIDAD DE VIVIENDA CON MAYOR CARGA				1.00	2,500.00	2,500.00	100%	2,500.00
LAS 02 UNIDADES DE VIVIENDA SIGUIENTES				2.00	2,500.00	5,000.00	65%	3,250.00
LAS 02 UNIDADES DE VIVIENDA SIGUIENTES				2.00	2,500.00	5,000.00	40%	2,000.00
LAS 15 UNIDADES DE VIVIENDA SIGUIENTES				15.00	2,500.00	37,500.00	30%	11,250.00
EL RESTO DE VIVIENDA SIGUIENTES				148.00	2,500.00	370,000.00	25%	92,500.00
MAXIMA DEMANDA TORRE B								111,500.00

CUADRO DE CARGAS DE DEPARTAMENTOS DEL PROYECTO "REAL" - EDIFICIO B								
BANCO DE MEDIDORES	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN	CANT. DE DPTOS.	DESCRIPCIÓN	C.U. (W)	Cantidad	C.I. (W)	F.D.	M.D. (W)
BM-11	TD-203, TD-204, TD-205, TD-206, TD-303, TD-304, TD-305, TD-306, TD-403, TD-404, TD-405, TD-406.	12.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-12	TD-503, TD-504, TD-505, TD-506, TD-603, TD-604, TD-605, TD-606, TD-703, TD-704, TD-705, TD-706, TD-803, TD-804, TD-805, TD-806, TD-903, TD-904.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-13	TD-905, TD-906, TD-1003, TD-1004, TD-1005, TD-1006, TD-1103, TD-1104, TD-1105, TD-1106, TD-1203, TD-1204, TD-1205, TD-1206, TD-1303, TD-1304, TD-1305, TD-1306.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-14	TD-1403, TD-1404, TD-1405, TD-1406, TD-1503, TD-1504, TD-1505, TD-1506, TD-1603, TD-1604, TD-1605, TD-1606, TD-1703, TD-1704, TD-1705, TD-1706, TD-1803, TD-1804.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-15	TD-1805, TD-1806, TD-1903, TD-1904, TD-1905, TD-1906, TD-2003, TD-2004, TD-2005, TD-2006, TD-2103, TD-2104, TD-2105, TD-2106, TD-2203, TD-2204, TD-2205, TD-2206.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-16	TD-201, TD-202, TD-207, TD-208, TD-301, TD-302, TD-307, TD-308, TD-401, TD-402, TD-407, TD-408, TD-501, TD-502, TD-507, TD-508, TD-601, TD-602.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-17	TD-607, TD-608, TD-701, TD-702, TD-707, TD-708, TD-801, TD-802, TD-807, TD-808, TD-901, TD-902, TD-907, TD-908, TD-1001, TD-1002, TD-1007, TD-1008.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-18	TD-1101, TD-1102, TD-1107, TD-1108, TD-1201, TD-1202, TD-1207, TD-1208, TD-1301, TD-1302, TD-1307, TD-1308, TD-1401, TD-1402, TD-1407, TD-1408, TD-1501, TD-1502.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-19	TD-1507, TD-1508, TD-1601, TD-1602, TD-1607, TD-1608, TD-1701, TD-1702, TD-1707, TD-1708, TD-1801, TD-1802, TD-1807, TD-1808, TD-1901, TD-1902, TD-1907, TD-1908.	18.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
BM-20	TD-2001, TD-2002, TD-2007, TD-2008, TD-2101, TD-2102, TD-2107, TD-2108, TD-2201, TD-2202, TD-2207, TD-2208.	12.00	Área techada < 90m2					
			CARGA BASICA Área = 45m2	1,500.00	1.00	1,500.00	100%	1,500.00
			CARGA ADICIONAL Área = 45m2 (ó FRACCIÓN)	1,000.00	1.00	1,000.00	100%	1,000.00
			SUB TOTAL			2,500.00		2,500.00
		168.00						
LA UNIDAD DE VIVIENDA CON MAYOR CARGA				1.00	2,500.00	2,500.00	100%	2,500.00
LAS 02 UNIDADES DE VIVIENDA SIGUIENTES				2.00	2,500.00	5,000.00	65%	3,250.00
LAS 02 UNIDADES DE VIVIENDA SIGUIENTES				2.00	2,500.00	5,000.00	40%	2,000.00
LAS 15 UNIDADES DE VIVIENDA SIGUIENTES				15.00	2,500.00	37,500.00	30%	11,250.00
EL RESTO DE VIVIENDA SIGUIENTES				148.00	2,500.00	370,000.00	25%	92,500.00
MAXIMA DEMANDA TORRE B								111,500.00

CUADRO DE CARGAS DE SERVICIOS GENERALES DEL PROYECTO "REAL" - EDIFICIO A							
CUADRO DE CARGAS T-SG. A							
DESCRIPCIÓN	ÁREA (m2)	DENSIDAD (W/m2)	C. U. (W)	CANTIDAD	C.I. (W)	F.D.	M.D. (W)
ALUMBRADO PASADIZOS+HALL+LOBY+ESCALERAS EDIFICIO A			20.00	299.00	5,980.00	75%	4,485.00
ALUMBRADO EXTERIORES			40.00	59.00	2,360.00	75%	1,770.00
TOMACORRIENTES PASADIZOS+HALL+LOBY+ESCALERAS EDIFICIO A			100.00	50.00	5,000.00	75%	3,750.00
LUZ DE EMERGENCIA PISOS Y ESCALERAS EDIFICIO A			25.00	140.00	3,500.00	75%	2,625.00
PANEL DETECCIÓN DE ALARMA CONTRA INCENDIO EDIFICIO A			250.00	1.00	250.00	75%	187.50
PANEL DE INTERCOMUNICADORES EDIFICIO A			500.00	1.00	500.00	75%	375.00
CHAPA ELECTRICA			300.00	2.00	600.00	75%	450.00
TTA-VEN EDIFICIO A			13,650.00	1.00	13,650.00	75%	10,237.50
TC-ASC 1			8,400.00	1.00	8,400.00	75%	6,300.00
TC-ASC 2			8,400.00	1.00	8,400.00	75%	6,300.00
TC-ASC 3			8,400.00	1.00	8,400.00	75%	6,300.00
TF-CB			72,868.00	1.00	72,868.00	75%	54,651.00
TD-S1			9,930.90	1.00	9,930.90	75%	7,448.18
TD-S2			11,059.90	1.00	11,059.90	75%	8,294.93
TD-AZ EDIFICIO A			12,018.00	1.00	12,018.00	75%	9,013.50
TOTAL							122,187.60

CUADRO DE CARGAS DE SERVICIOS GENERALES DEL PROYECTO "REAL" - EDIFICIO B							
CUADRO DE CARGAS T-SG. B							
DESCRIPCIÓN	ÁREA (m2)	DENSIDAD (W/m2)	C. U. (W)	CANTIDAD	C.I. (W)	F.D.	M.D. (W)
ALUMBRADO PASADIZOS+HALL+LOBY+ESCALERAS EDIFICIO B			20.00	298.00	5,960.00	75%	4,470.00
ALUMBRADO EXTERIORES			40.00	26.00	1,040.00	75%	780.00
TOMACORRIENTES PASADIZOS+HALL+LOBY+ESCALERAS EDIFICIO B			100.00	48.00	4,800.00	75%	3,600.00
LUZ DE EMERGENCIA PISOS Y ESCALERAS EDIFICIO B			25.00	134.00	3,350.00	75%	2,512.50
PANEL DETECCIÓN DE ALARMA CONTRA INCENDIO EDIFICIO A			250.00	1.00	250.00	75%	187.50
PANEL DE INTERCOMUNICADORES EDIFICIO A			500.00	1.00	500.00	75%	375.00
CHAPA ELECTRICA			300.00	1.00	300.00	75%	225.00
TTA-VEN EDIFICIO B			13,523.00	1.00	13,523.00	75%	10,142.25
TC-ASC 1			8,400.00	1.00	8,400.00	75%	6,300.00
TC-ASC 2			8,400.00	1.00	8,400.00	75%	6,300.00
TC-ASC 3			8,400.00	1.00	8,400.00	75%	6,300.00
TD-AZ EDIFICIO B			12,058.00	1.00	12,058.00	75%	9,043.50
TOTAL							50,235.75

Nota: Ver detalle en entregable digital.

11

Nota: Ver detalle en entregable digital.

Apéndice 8

Apéndice 8: Tabla comparativa de estimación de costos entre metodología tradicional y metodología BIM.

Descripción	Sección	Unidad	METODOLOGÍA TRADICIONAL			METODOLOGÍA BIM		
			Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1. ALIMENTADORES DE DPTOS.								
1.1. TORREA								
1.1.1. Alimentador	2x6mm2 (F)	m	738.00	S/ 13.60	S/ 10,033.83	2,053.78	S/ 13.60	S/ 27,923.13
1.1.1. Alimentador	2x10mm2 (F)	m	8,910.00	S/ 17.83	S/ 158,906.87	6,698.61	S/ 17.83	S/ 119,467.47
1.1.1. Alimentador	2x16mm2 (F)	m	2,620.00	S/ 23.98	S/ 62,828.58	2,222.05	S/ 23.98	S/ 53,285.59
1.2. TORRE B								
1.2.1. Alimentador	2x6mm2 (F)	m	-	S/ 13.60	S/ 0.00	781.18	S/ 13.60	S/ 10,620.90
1.2.1. Alimentador	2x10mm2 (F)	m	11,743.00	S/ 17.83	S/ 209,432.48	9,929.06	S/ 17.83	S/ 177,081.46
1.2.1. Alimentador	2x16mm2 (F)	m	2,608.00	S/ 23.98	S/ 62,540.81	2,210.98	S/ 23.98	S/ 53,020.12
SUBTOTAL ---->			26,619.00		S/ 503,742.56	23,895.66		S/ 441,398.67
2. ALIMENTADORES DE SS.GG.								
2.1. Alimentador	3x10mm2 (F)	m	-	S/ 26.75	S/ 0.00	51.99	S/ 26.75	S/ 1,390.84
2.2. Alimentador	3x16mm2 (F)	m	63.00	S/ 35.97	S/ 2,266.15	59.15	S/ 35.97	S/ 2,127.66
2.3. Alimentador	3x25mm2 (F)	m	-	S/ 50.68	S/ 0.00	411.97	S/ 50.68	S/ 20,878.68
2.4. Alimentador	3x35mm2 (F)	m	481.00	S/ 64.16	S/ 30,861.07	306.77	S/ 64.16	S/ 19,682.44
2.5. Alimentador	3x50mm2 (F)	m	349.00	S/ 76.97	S/ 26,863.64	-	S/ 76.97	S/ 0.00
2.6. Alimentador	3x120mm2 (F)	m	29.00	S/ 167.71	S/ 4,863.53	13.44	S/ 167.71	S/ 2,254.00
2.7. Alimentador	3x150mm2 (F)	m	68.00	S/ 196.98	S/ 13,394.63	52.26	S/ 196.98	S/ 10,294.17
2.8. Alimentador	2-(3x185mm2) (F)	m	40.00	S/ 426.37	S/ 17,054.63	24.52	S/ 426.37	S/ 10,454.49
SUBTOTAL ---->			1,030.00		S/ 95,303.66	920.10		S/ 67,082.26
TOTAL ---->			27,649.00		S/ 599,046.21	24,815.76		S/ 508,480.94

% DISMINUCIÓN DE METRADOS **10%**

% de AHORRO EN CD **12%**

% DISMINUCIÓN DE METRADOS **11%**

% de AHORRO EN CD **30%**

% DISMINUCIÓN DE METRADOS **10%**

% de AHORRO EN CD **15%**

Partida		Alimentador 1x6mm2 (F)		m		S/ 6.80	
Rendimiento		MO	130.00	EQ	130.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<u>Mano de Obra</u>						
CAP	Capataz	HH	0.10	0.01	S/ 17.83	S/ 0.23	
OPER	Operario	HH	1.00	0.13	S/ 14.86	S/ 1.92	
AYU	Ayudante	HH	1.00	0.13	S/ 10.67	S/ 1.38	
						S/ 3.53	
	<u>Materiales</u>						
C_6	Cable 1x6mm2	m		1.02	S/ 2.93	S/ 2.99	
CONS	Materiales consumibles	%MO		5%	S/ 0.18	S/ 0.18	
						S/ 3.16	
	<u>Equipos</u>						
	Herramientas manuales	%MO		3%	S/ 0.11	S/ 0.11	
						S/ 0.11	

Partida		Alimentador 1x10mm2 (F)		m		S/ 8.92	
Rendimiento		MO	110.00	EQ	110.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<u>Mano de Obra</u>						
CAP	Capataz	HH	0.10	0.02	S/ 17.83	S/ 0.27	
OPER	Operario	HH	1.00	0.15	S/ 14.86	S/ 2.27	
AYU	Ayudante	HH	1.00	0.15	S/ 10.67	S/ 1.63	
						S/ 4.17	
	<u>Materiales</u>						
C_10	Cable 1x10mm2	m		1.02	S/ 4.36	S/ 4.44	
CONS	Materiales consumibles	%MO		5%	S/ 0.18	S/ 0.18	
						S/ 4.62	
	<u>Equipos</u>						
	Herramientas manuales	%MO		3%	S/ 0.13	S/ 0.13	
						S/ 0.13	

Partida		Alimentador 1x16mm2 (F)		m		S/ 11.99	
Rendimiento		MO	90.00	EQ	90.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<u>Mano de Obra</u>						
CAP	Capataz	HH	0.10	0.02	S/ 17.83	S/ 0.33	
OPER	Operario	HH	1.00	0.19	S/ 14.86	S/ 2.77	
AYU	Ayudante	HH	1.00	0.19	S/ 10.67	S/ 1.99	
						S/ 5.10	
	<u>Materiales</u>						
C_16	Cable 1x16mm2	m		1.02	S/ 6.43	S/ 6.56	
CONS	Materiales consumibles	%MO		5%	S/ 0.18	S/ 0.18	
						S/ 6.74	
	<u>Equipos</u>						
	Herramientas manuales	%MO		3%	S/ 0.15	S/ 0.15	
						S/ 0.15	

Partida		Alimentador 1x25mm2 (F)		m		S/ 16.89	
Rendimiento		MO	70.00	EQ	70.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<u>Mano de Obra</u>						
CAP	Capataz	HH	0.10	0.02	S/ 17.83	S/ 0.43	
OPER	Operario	HH	1.00	0.24	S/ 14.86	S/ 3.57	
AYU	Ayudante	HH	1.00	0.24	S/ 10.67	S/ 2.56	
						S/ 6.55	
	<u>Materiales</u>						
C_25	Cable 1x25mm2	m		1.02	S/ 9.77	S/ 9.97	
CONS	Materiales consumibles	%MO		5%	S/ 0.18	S/ 0.18	
						S/ 10.14	
	<u>Equipos</u>						
	Herramientas manuales	%MO		3%	S/ 0.20	S/ 0.20	
						S/ 0.20	

Partida		Alimentador 1x35mm2 (F)		m		S/ 21.39	
Rendimiento		MO	60.00	EQ	60.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<u>Mano de Obra</u>						
CAP	Capataz	HH	0.10	0.03	S/ 17.83	S/ 0.50	
OPER	Operario	HH	1.00	0.28	S/ 14.86	S/ 4.16	
AYU	Ayudante	HH	1.00	0.28	S/ 10.67	S/ 2.99	
						S/ 7.65	
	<u>Materiales</u>						
C_35	Cable 1x35mm2	m		1.02	S/ 13.07	S/ 13.33	
CONS	Materiales consumibles	%MO		5%	S/ 0.18	S/ 0.18	
						S/ 13.51	
	<u>Equipos</u>						
	Herramientas manuales	%MO		3%	S/ 0.23	S/ 0.23	
						S/ 0.23	

Partida		Alimentador 1x50mm2 (F)		m		S/ 25.66	
Rendimiento		MO	60.00	EQ	60.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<u>Mano de Obra</u>						
CAP	Capataz	HH	0.10	0.03	S/ 17.83	S/ 0.50	
OPER	Operario	HH	1.00	0.28	S/ 14.86	S/ 4.16	
AYU	Ayudante	HH	1.00	0.28	S/ 10.67	S/ 2.99	
						S/ 7.65	
	<u>Materiales</u>						
C_50	Cable 1x50mm2	m		1.02	S/ 17.26	S/ 17.60	
CONS	Materiales consumibles	%MO		5%	S/ 0.18	S/ 0.18	
						S/ 17.78	
	<u>Equipos</u>						
	Herramientas manuales	%MO		3%	S/ 0.23	S/ 0.23	
						S/ 0.23	

Partida		Alimentador 1x120mm2 (F)		m		S/ 55.90	
Rendimiento		MO	35.00	EQ	35.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<u>Mano de Obra</u>						
CAP	Capataz	HH	0.10	0.05	S/ 17.83	S/ 0.86	
OPER	Operario	HH	1.00	0.48	S/ 14.86	S/ 7.13	
AYU	Ayudante	HH	1.00	0.48	S/ 10.67	S/ 5.12	
						S/ 13.11	
	<u>Materiales</u>						
C_120	Cable 1x120mm2	m		1.02	S/ 41.40	S/ 42.22	
CONS	Materiales consumibles	%MO		5%	S/ 0.18	S/ 0.18	
						S/ 42.40	
	<u>Equipos</u>						
	Herramientas manuales	%MO		3%	S/ 0.39	S/ 0.39	
						S/ 0.39	

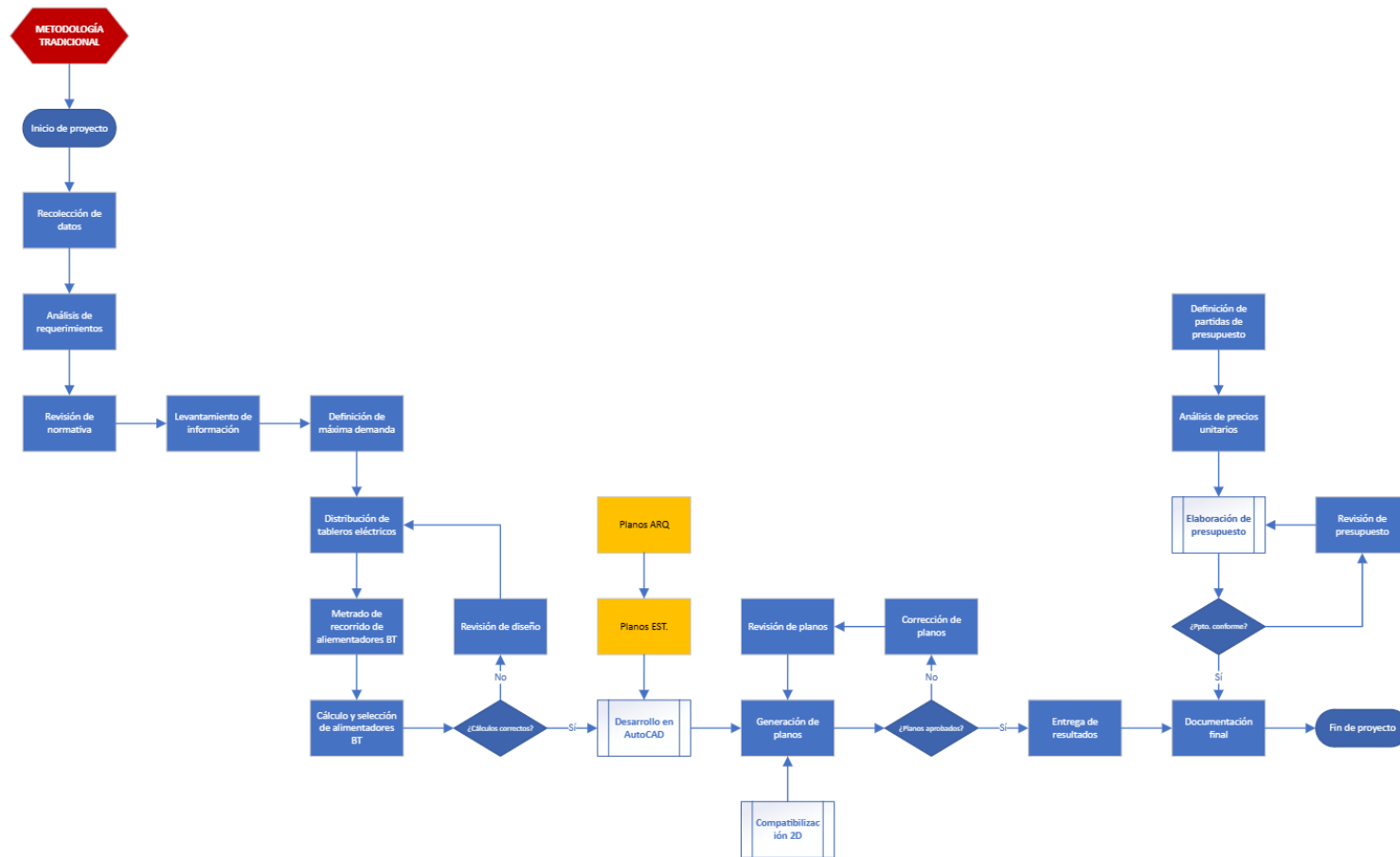
Partida		Alimentador 1x150mm2 (F)		m		S/ 65.66	
Rendimiento		MO	35.00	EQ	35.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<u>Mano de Obra</u>						
CAP	Capataz	HH	0.10	0.05	S/ 17.83	S/ 0.86	
OPER	Operario	HH	1.00	0.48	S/ 14.86	S/ 7.13	
AYU	Ayudante	HH	1.00	0.48	S/ 10.67	S/ 5.12	
						S/ 13.11	
	<u>Materiales</u>						
C_150	Cable 1x150mm2	m		1.02	S/ 50.96	S/ 51.98	
CONS	Materiales consumibles	%MO		5%	S/ 0.18	S/ 0.18	
						S/ 52.16	
	<u>Equipos</u>						
	Herramientas manuales	%MO		3%	S/ 0.39	S/ 0.39	
						S/ 0.39	

Partida		Alimentador 1x185mm2 (F)		m		S/ 71.06	
Rendimiento		MO	25.00	EQ	25.00		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<u>Mano de Obra</u>						
CAP	Capataz	HH	0.10	0.07	S/ 17.83	S/ 1.20	
OPER	Operario	HH	1.00	0.67	S/ 14.86	S/ 9.98	
AYU	Ayudante	HH	1.00	0.67	S/ 10.67	S/ 7.17	
						S/ 18.35	
	<u>Materiales</u>						
C_150	Cable 1x150mm2	m		1.02	S/ 50.96	S/ 51.98	
CONS	Materiales consumibles	%MO		5%	S/ 0.18	S/ 0.18	
						S/ 52.16	
	<u>Equipos</u>						
	Herramientas manuales	%MO		3%	S/ 0.55	S/ 0.55	
						S/ 0.55	

Nota: Ver detalle en entregable digital.

Apéndice 9

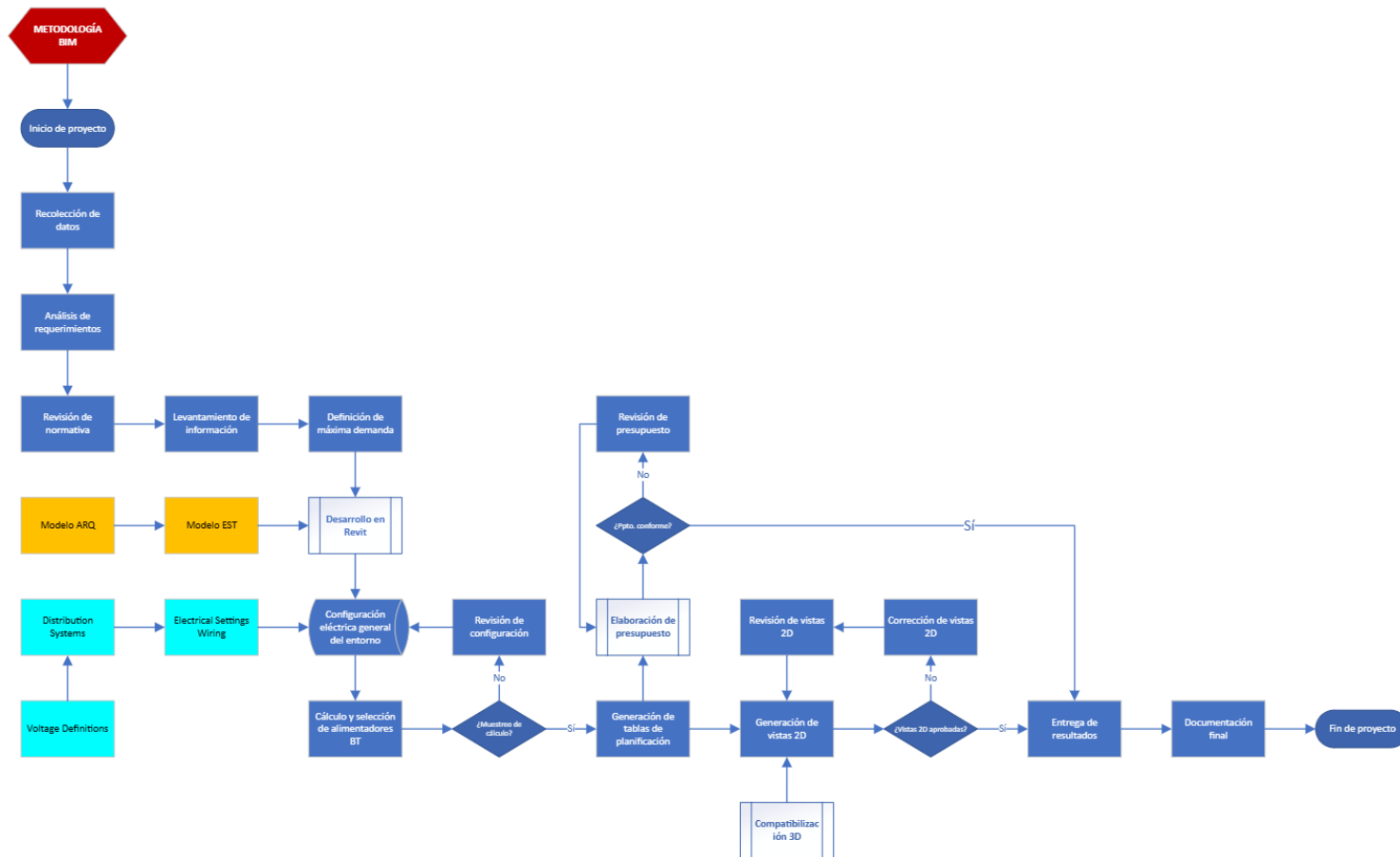
Apéndice 9: Diagrama de flujo - Metodología tradicional



Nota: Ver detalle en entregable digital.

Apéndice 10

Apéndice 10: Diagrama de flujo - Metodología BIM



Nota: Ver detalle en entregable digital.

Tabla de anexos

Anexo 1: Características técnicas del cable N2XOH - Nexans	19
Anexo 2: Datos dimensionales del cable N2XOH - Nexans	20
Anexo 3: Datos eléctricos del cable N2XOH - Nexans	21
Anexo 4: Tabla 2 del C.N.E. – Utilización 2006	22
Anexo 5: Tabla 4 del C.N.E. – Utilización 2006	23
Anexo 6: Tabla 5A del C.N.E. – Utilización 2006	24
Anexo 7: Tabla 5C del C.N.E. – Utilización 2006	25
Anexo 8: Tabla 1.22 - Factor de corrección de resistencia eléctrica para cables unipolares del “Industrial Power Systems Handbook”	26

Anexo 1

Anexo 1: Características técnicas del cable N2XOH - Nexans

Características

Características de construcción	
Material del conductor	Cobre
Material de aislamiento	XLPE
Cubierta exterior	Compuesto Termoplástico Libre de Halógenos
Color de cubierta	Negro
Libre de halógenos	IEC 60754-2
Libre de plomo	Si
Características eléctricas	
Tensión nominal de servicio U ₀ /U	0.6/1 kV
Características de uso	
No propagación de la llama	IEC 60332-1
No propagador del incendio	IEC 60332-3 Cat.C
Densidad de los humos	IEC 61034
Temperatura máxima del conductor	90 °C

Fuente: Imagen tomada de (Nexans, s.f.)

Anexo 2

Anexo 2: Datos dimensionales del cable N2XOH - Nexans

Datos Dimensionales

Sección [mm²]	Nº total alambres	Diam. Conductor [mm]	Mín. espes. Aislam. [mm]	Mín. espes. Cubierta [mm]	Diam. Nom. Exterior [mm]	Peso aprox. [kg/km]
1,5	7	1,5	0,7	0,9	6,88	67
2,5	7	1,92	0,7	0,9	5,3	47
4	7	2,44	0,7	0,9	5,8	64
6	7	2,98	0,7	0,9	6,3	86
10	7	3,99	0,7	0,9	7,1	128
16	7	4,67	0,7	0,9	8,0	189
25	7	5,88	0,9	0,9	9,7	287
35	7	6,92	0,9	0,9	10,7	384
50	19	8,15	1,0	0,9	12,1	507
70	19	9,78	1,1	0,9	14,0	713
95	19	11,55	1,1	1,0	15,9	975
120	37	13,0	1,2	1,0	17,6	1216
150	37	14,41	1,4	1,1	19,6	1497
185	37	16,16	1,6	1,2	22,0	1879

Fuente: Imagen tomada de (Nexans, s.f.)

Anexo 3

Anexo 3: Datos eléctricos del cable N2XOH - Nexans

Sección [mm²]	Nº total alambres	Amperaje enterrado 20°C [A]	Amperaje aire 30°C [A]	Amperaje ducto a 20°C [A]
1,5	7	40	35	34
2,5	7	50	40	38
4	7	65	55	55
6	7	85	65	68
10	7	115	90	95
16	7	155	125	125
25	7	200	160	160
35	7	240	200	195
50	19	280	240	230
70	19	345	305	275
95	19	415	375	330
120	37	470	435	380
150	37	520	510	410
185	37	590	575	450

						
Libre de halógenos IEC 60754-2	Libre de plomo Si	Tensión nominal de servicio Uo/U 0.6/1 kV	No propagación de la llama IEC 60332-1	No propagador del incendio IEC 60332-3 Cat.C	Densidad de los humos IEC 61034	Temperatura máxima del conductor 90 °C

Fuente: Imagen tomada de (Nexans, s.f.)

Anexo 4







Anexo 4: Tabla 2 del C.N.E. – Utilización 2006

Tabla 2 (Continuación)

(Ver Reglas 030-004, 050-104, 070-012, 070-2212, 150-000, 150-742, 220-008 y 220-016, y Tablas 5A, 5C y 19)

Capacidad de corriente en A de conductores aislados – En canalización o cable

Basada en temperatura ambiente: 30 °C al aire y 20 °C en tierra

Sección nominal del conductor [mm ²]	Método de instalación de acuerdo a la NTP 370.301 (IEC 60364-5-523)											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
												
Aislamiento	XLPE o EPR		XLPE o EPR		XLPE o EPR		XLPE o EPR		XLPE o EPR		XLPE o EPR	
Temperatura	90 °C		90 °C		90 °C		90 °C		90 °C		90 °C	
Cantidad de conductores	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Cobre												
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	68	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	69	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	-	-	-	-	441	371	324	271
185	362	324	329	295	-	-	-	-	506	424	363	304
240	424	380	386	346	-	-	-	-	599	500	419	351
300	486	435	442	39	-	-	-	-	693	576	474	396

Nota1: En las columnas del 4, 5 y 8 al 25 se asume conductores circulares para secciones hasta 16 mm². Valores para dimensiones mayores están relacionados a la forma de los conductores y puede ser aplicado a conductores circulares.

Nota 2: Los métodos de instalación son detallados en la Tabla 3 y están de acuerdo a la NTP 370.301.

Nota 3: Véase la Tabla 5A para los factores de corrección a ser aplicados por efectos de mayor temperatura ambiente.

Nota 4: Véase la Tabla 5B para los factores de corrección para cables embutidos en ductos para resistividades térmicas de suelo distintas de 2,5 K.m/W, con el método de instalación D.

Nota 5: Véase la Tabla 5C para los factores de reducción por grupos de más de un circuito o de más de un cable multipolar a ser usados con las capacidades de corriente nominal de las Tablas 1 y 2.

Nota 6: Véase la Tabla 5D para los factores de reducción para más de un circuito en ductos enterrados.

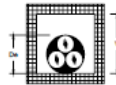
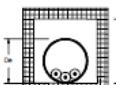
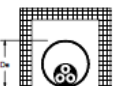
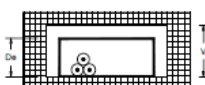
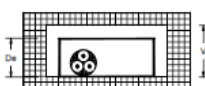
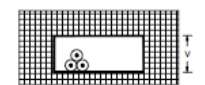
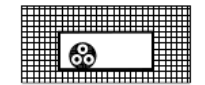
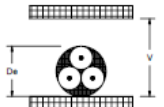
Nota 7: Para calibres AWG véase la Tabla 2 – Alternativa para calibres AWG, la que será sólo hasta el 2007-12-31.

Fuente: Imagen tomada de (Ministerio de Energía y Minas, 2006)

Anexo 55

Anexo 5: Tabla 4 del C.N.E. – Utilización 2006

Tabla 4 (Continuación)
Instrucciones por métodos de instalación
para obtener la capacidad de corriente nominal

Item Nro.	Métodos de instalación	Descripción	Referencia del método de instalación a ser usado para obtener la capacidad de corriente nominal (ver Tabla 3)
1	2	3	4
40		Cable unipolar o multipolar en ductos del edificio ^{1), 2)}	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V \leq 50 D_e$ B1
41		Conductor aislado dentro de un tubo en un ducto del edificio ^{1), 3)}	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
42		Cable unipolar o multipolar dentro de un tubo en un ducto del edificio	En deliberación
43		Conductores aislados en conducto de sección no circular en un ducto del edificio	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
44		Cable unipolar o multipolar en conducto de sección no circular en un ducto del edificio	En deliberación
45		Conductores aislados en conducto de sección no circular en mampostería, teniendo una resistividad térmica no mayor de 2 K.m/W ^{1), 2)}	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V \leq 50 D_e$ B1
46		Cable unipolar o multipolar en conducto de sección no circular en mampostería, teniendo una resistividad térmica no mayor de 2 K.m/W	En deliberación
47		Cable unipolar o multipolar - en falsos techos - en falsos suelos	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V \leq 50 D_e$ B1
Se debe tener cuidado cuando el cable está tendido verticalmente y la ventilación es restringida. La temperatura ambiente en la parte superior de la sección vertical puede ser incrementada considerablemente.			
¹⁾ V es la menor dimensión o diámetro de un ducto en la mampostería, o la profundidad vertical de un ducto rectangular, en un falso piso o techo. ²⁾ D_e es el diámetro externo de un cable multipolar: - 2,2 veces el diámetro del cable, cuando tres cables unipolares están unidos, o - 3 veces el diámetro del cable, cuando tres cables unipolares están apoyados en formación en un plano. ³⁾ D_e es el diámetro externo del tubo o la profundidad vertical del conducto de sección no circular.			

Fuente: Imagen tomada de (Ministerio de Energía y Minas, 2006)

Anexo 6

Anexo 6: Tabla 5A del C.N.E. – Utilización 2006

Tabla 5A

(Ver las Reglas 030-004(8) y 070-2212 y Tablas 1, 2, 57 y 58)

Factores de corrección para temperatura ambiente distinta de 30 °C para cables al aire y distinta a 20 °C para cables en ductos enterrados

Aplicables a las columnas de la 2 a la 16 de las Tablas 1 y 2

Temperatura ambiente [°C]	PVC		XLPE o EPR		MI - Mineral * (al aire)	
	Cables al aire	Cables en ductos enterrados	Cables al aire	Cables en ductos enterrados	Cubierta de PVC o desnudo y expuesto al contacto 70°C	Desnudo no expuesto al contacto 105 °C
10	1,22	1,10	1,15	1,07	1,26	1,14
15	1,17	1,05	1,12	1,04	1,20	1,11
20	1,12	1,00	1,08	1,00	1,14	1,07
25	1,06	0,95	1,04	0,96	1,07	1,04
30	1,00	0,89	1,00	0,93	1,00	1,00
35	0,94	0,84	0,96	0,89	0,93	0,96
40	0,87	0,77	0,91	0,85	0,85	0,92
45	0,79	0,71	0,87	0,80	0,87	0,88
50	0,71	0,63	0,85	0,76	0,67	0,84
55	0,61	0,55	0,76	0,71	0,57	0,80
60	0,50	0,45	0,71	0,65	0,45	0,75
65	-	-	0,65	0,60	-	0,70
70	-	-	0,58	0,53	-	0,65
75	-	-	0,50	0,46	-	0,60
80	-	-	0,41	0,38	-	0,54
85	-	-	-	-	-	0,47
90	-	-	-	-	-	0,40
95	-	-	-	-	-	0,32

* Para temperaturas ambiente mayores, también se puede consultar al fabricante.

Fuente: Imagen tomada de (Ministerio de Energía y Minas, 2006)

Anexo 7

Anexo 7: Tabla 5C del C.N.E. – Utilización 2006

Tabla 5C
Factores de reducción por grupos de más de un circuito o de más de un cable multipolar
A ser usados con las capacidades de corriente nominal de las Tablas 1 y 2

Ítem	Disposición (en cuanto a cables)	Número de circuitos o cables multipolar												A usarse con capacidades de corriente nominal, referencia
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Agrupados en el aire, sobre una superficie empotrados o encerrados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	4 a 8 Métodos A a F
2	En una capa sobre una pared, piso o bandeja no perforada	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	No más factores de reducción para más de nueve circuitos o cables multipolares			4 a 7 Método C
3	En una capa fijado directamente bajo un techo de madera	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	En una capa sobre una bandeja perforada horizontal o vertical	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				8 a 9 Métodos E y F
5	En una capa sobre un soporte de bandeja de escaleras, o listones, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Nota 1: Estos factores se aplican a grupos uniformes de cables, igualmente cargados.

Nota 2: Cuando la separación horizontal entre cables adyacentes excede el doble de su diámetro total, no es necesario aplicar factores de reducción.

Nota 3: El mismo factor es aplicado a:

- grupos de dos o tres cables unipolares.
- cables multipolares.

Nota 4: Si un sistema consiste de cables de dos o tres conductores, el número total de cables debe ser considerado como el número de circuitos, y es aplicado al factor correspondiente de las tablas para dos conductores de carga para los cables de dos conductores, y de las tablas para tres conductores de carga para cables de tres conductores.

Nota 5: Si un grupo consiste de n cables unipolares debe ser considerado de $n/2$ circuitos de dos conductores de carga o $n/3$ circuitos de tres conductores de carga.

Nota 6: El valor dado ha sido promediado sobre el rango de dimensiones de conductor y tipos de instalación incluidos en las Tablas 1 y 2. la precisión total de los valores tabulados esta dentro de $\pm 5\%$.

Nota 7: Para algunas instalaciones y para otros métodos no provistos en la Tabla 5C, puede ser apropiado usar factores calculados para casos específicos, ver por ejemplo la Tabla 5E.

Fuente: Imagen tomada de (Ministerio de Energía y Minas, 2006)

Anexo 8

Anexo 8: Tabla 1.22 - Factor de corrección de resistencia eléctrica para cables unipolares del "Industrial Power Systems Handbook"

TABLE 1.22 Correction Factors for Nonmagnetic Ducts
Single-conductor Cables

Factor for correcting resistances, all sizes of cable	Factors for correcting resistances				
	No. 14 to No. 8 Awg	No. 6 to No. 0 Awg	No. 00 to 250 MCM	300 to 500 MCM	750 MCM
0.8	1.0	0.96	0.93	0.83	0.72

Fuente: Imagen tomada de (Beeman, 1955)