

CAMINOS DE ENERGÍA Y EDUCACIÓN

Relatos desde el ICETEX

Heladio Moreno
González
José Walter
Caicedo Arboleda
William Castillo López



Título: Caminos de Energía y Educación: Relatos desde el ICETEX

Autores: Heladio Moreno González, José Walter Caicedo Arboleda, William Castillo López.

Edición: Leonardo Valencia Echeverry

Diagramación: Leonardo Valencia Echeverry

© HELADIO MORENO GONZÁLEZ, JOSÉ WALTER CAICEDO ARBOLEDA, WILLIAM CASTILLO LÓPEZ.

© LIBROS PARA PENSAR

Primera Edición 2025

ISBN: 978-628-01-8681-8

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia u otro método, sin el permiso previo y por escrito del autor.

Hecho en Colombia
Printed in Colombia

Queda hecho el Depósito Legal



CAMINOS DE ENERGÍA Y EDUCACIÓN: RELATOS DESDE EL ICETEX

INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	15
METODOLOGÍA.....	17
1. SISTEMATIZACIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO BASE.....	17
2. REESTRUCTURACIÓN CONCEPTUAL Y NARRATIVA.....	18
3. ENRIQUECIMIENTO CONTEXTUAL Y BIBLIOGRÁFICO	18
4. REDACCIÓN Y VALIDACIÓN TÉCNICA-NARRATIVA	18
5. ENFOQUE TRANSVERSAL: CONTEXTUALIZACIÓN TERRITORIAL	19
PARTE I: FUNDAMENTOS DEL DISEÑO ELÉCTRICO EN EDIFICACIONES.....	20
ENERGÍA Y TERRITORIO.....	20
MARCO NORMATIVO COLOMBIANO EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS	21
EL RETIE: GARANTÍA NORMATIVA DE SEGURIDAD ELÉCTRICA EN COLOMBIA	22
LA NTC 2050: CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO	28
LA NTC 2050 COMO INSTRUMENTO DE EFICIENCIA Y SOSTENIBILIDAD	31
NORMAS INTERNACIONALES COMPLEMENTARIAS (IEC, IEEE, NFPA).....	32
UN DISEÑO TÉCNICO CON RESPALDO INTERNACIONAL	36
FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL DISEÑO ELÉCTRICO PARA EDIFICACIONES PÚBLICAS.....	37
EVALUACIÓN DE CARGA INSTALADA Y PROYECCIÓN DE DEMANDA	38
SELECCIÓN DEL NIVEL DE TENSIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA	39
SISTEMAS DE PROTECCIÓN: SOBRECORRIENTE, CORTOCIRCUITO Y DIFERENCIAL	40
PUESTA A TIERRA Y EQUIPOTENCIALIZACIÓN	41
EFICIENCIA ENERGÉTICA: PÉRDIDAS, REGULACIÓN Y CALIDAD DEL SUMINISTRO.....	42
RESILIENCIA Y ADAPTABILIDAD AL CONTEXTO TERRITORIAL.....	43
PARTE II: ESTUDIO DE CASO – EDIFICIO ICETEX BUENAVENTURA.....	45
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO	45

CRITERIOS DE DISEÑO Y METODOLOGÍA APLICADA.....	48
ANÁLISIS DE CARGA ELÉCTRICA	53
COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO	57
ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO Y FALLA A TIERRA	62
EVALUACIÓN DEL RIESGO POR RAYOS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA.....	67
EVALUACIÓN DEL RIESGO POR RAYOS Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA.....	70
RIESGOS ELÉCTRICOS Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS	75
NIVEL DE TENSIÓN Y REQUISITOS NORMATIVOS	80
CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	85
CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS – ANÁLISIS Y JUSTIFICACIÓN	89
COORDINACIÓN DE PROTECCIONES Y CANALIZACIONES.....	93
PÉRDIDAS DE ENERGÍA, REGULACIÓN Y EFICIENCIA DEL SISTEMA	97
DIAGRAMAS Y PLANOS ELÉCTRICOS – REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL SISTEMA.....	101
PARTE III: REFLEXIONES TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES.....	107
LECCIONES APRENDIDAS DEL CASO ICETEX BUENAVENTURA	107
ESTÁNDARES MÍNIMOS PARA DISEÑOS ELÉCTRICOS EN EDIFICACIONES INSTITUCIONALES	111
INTEGRACIÓN DEL DISEÑO ELÉCTRICO DESDE LA ETAPA ARQUITECTÓNICA	112
ELECCIÓN ADECUADA DEL NIVEL DE TENSIÓN.....	112
USO DE TRANSFORMADORES SECOS Y SISTEMAS DE VENTILACIÓN ADECUADOS	113
TABLEROS POR PISO, CON IDENTIFICACIÓN Y RESERVA	113
BALANCE DE CARGA TRIFÁSICO Y CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....	114
PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES.....	114
SISTEMA DE PUESTA A TIERRA INTEGRAL Y EQUIPOTENCIALIZACIÓN	115
DOCUMENTACIÓN TÉCNICA COMPLETA Y ENTREGABLE.....	115
CONSIDERACIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	116
ADAPTABILIDAD, MANTENIMIENTO Y PARTICIPACIÓN LOCAL .	116
DESAFÍOS PARA EL DISEÑO ELÉCTRICO EN REGIONES COSTERAS	117

CONDICIONES CLIMÁTICAS AGRESIVAS: HUMEDAD, SALINIDAD Y TEMPERATURA.....	117
SUELOS DE ALTA RESISTIVIDAD Y DESAFÍOS EN LA PUESTA A TIERRA.....	118
INFRAESTRUCTURA PÚBLICA EXPUESTA A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	119
ESCASEZ DE PERSONAL CAPACITADO Y DEBILIDAD EN EL MANTENIMIENTO.....	120
TENSIÓN ENTRE NORMATIVIDAD NACIONAL Y REALIDAD TERRITORIAL.....	121
HACIA UNA INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA SEGURA, EFICIENTE Y NORMATIVA.....	122
SEGURIDAD: DEL DISEÑO A LA OPERACIÓN	123
EFICIENCIA: MÁS ALLÁ DEL AHORRO ENERGÉTICO	124
NORMATIVIDAD: DEL CUMPLIMIENTO MÍNIMO AL ESTÁNDAR PÚBLICO	125
CAPACIDAD INSTALADA: EL RECURSO MÁS ESCASO	126
HACIA UNA POLÍTICA PÚBLICA DE INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA	126
EPÍLOGO.....	131
BIBLIOGRAFÍA	133

Introducción

La energía eléctrica es, en muchas formas, el pulso silencioso de la vida moderna. Su presencia, casi siempre imperceptible, permite que el mundo funcione: enciende aulas, mueve hospitales, sostiene redes de datos, activa oficinas, preserva alimentos y protege a las personas. Sin embargo, en el contexto de la infraestructura pública, esta energía es muchas veces tratada como una obviedad: se da por sentada, se delega, se improvisa. Lo eléctrico es lo invisible, y lo invisible suele ser descuidado. Este libro nace, precisamente, para disputar esa invisibilidad.

El proyecto de diseño eléctrico del edificio ICETEX en Buenaventura fue más que una serie de cálculos y planos. Fue una oportunidad para pensar en profundidad qué significa dotar a una edificación pública —ubicada en una ciudad portuaria, húmeda, marginal y resiliente— de un sistema eléctrico confiable, seguro, eficiente y con sentido territorial. Cada decisión tomada en ese diseño, desde el tipo de transformador hasta la forma de distribuir los tableros por piso, desde el sistema de puesta a tierra hasta la representación gráfica del sistema, tuvo que dialogar con el entorno, con la normativa

vigente y con la visión institucional del servicio público.

Este libro, por tanto, no es un simple compendio técnico. Es un ejercicio de memoria, análisis y proyección. En sus páginas se articula una narrativa que entrelaza tres dimensiones esenciales: los fundamentos técnicos y normativos del diseño eléctrico, el análisis detallado de un caso real en territorio, y una serie de reflexiones propositivas sobre los desafíos estructurales de la infraestructura eléctrica en Colombia. Se trata de un texto concebido no solo para ingenieros, sino también para funcionarios públicos, diseñadores institucionales, técnicos operativos, estudiantes de ingeniería y todos aquellos actores que hacen posible —y sostenible— lo público.

En la primera parte, se presentan los principios que rigen el diseño eléctrico en edificaciones institucionales, incluyendo el marco normativo colombiano (RETIE, NTC 2050, normas IEC) y los fundamentos técnicos que sustentan decisiones clave en la arquitectura energética de los edificios. Esta sección sienta las bases para comprender no solo el qué, sino el porqué del sistema eléctrico.

La segunda parte ofrece un análisis profundo del caso del edificio ICETEX Buenaventura. Allí,

cada componente del sistema es examinado en detalle: desde los cálculos de carga hasta la protección contra descargas atmosféricas, desde la evaluación de riesgo eléctrico hasta los planos y diagramas del sistema. Esta sección no solo ilustra un proceso bien ejecutado, sino que documenta una experiencia real, con sus dilemas, restricciones y decisiones fundadas en criterios técnicos, ambientales y sociales.

La tercera parte recoge las lecciones aprendidas, los desafíos aún abiertos y las recomendaciones que podrían guiar futuras intervenciones en infraestructura eléctrica institucional, especialmente en regiones con características climáticas complejas como las zonas costeras. Aquí se plantea también la necesidad de avanzar hacia una política pública nacional de infraestructura eléctrica institucional, que supere el enfoque puntual de los proyectos para consolidar un sistema de gestión técnica con vocación de permanencia, eficiencia y justicia territorial.

Este libro se publica con una intención clara: demostrar que el diseño eléctrico no es un detalle técnico relegable, sino un componente central de la vida pública. Que cada decisión de diseño es también una decisión ética. Que es posible, y necesario, construir sistemas eléctricos que no solo funcionen, sino que duren,

que enseñen, que cuiden. Y que en territorios históricamente postergados como Buenaventura, hacer buena ingeniería es también hacer justicia.

En un país donde tantas veces lo público ha sido sinónimo de precariedad, este libro quiere defender lo contrario: que lo público puede ser ejemplar. Que cada edificio público es una oportunidad para demostrar que el Estado sí puede estar presente con calidad, con responsabilidad y con rigor. Que cada cable bien instalado, cada tablero bien dimensionado, cada plano bien trazado, es una señal silenciosa pero poderosa de que el futuro se puede construir con inteligencia técnica y con sentido de lo común.

Objetivos

Este libro nace con la intención de trascender el carácter puramente técnico de las memorias de cálculo eléctrico del edificio ICETEX en Buenaventura, para convertirlas en una herramienta formativa, crítica y contextualizada. A través de su desarrollo, se propone ofrecer una mirada integral al proceso de diseño eléctrico en edificaciones públicas, abordando tanto sus fundamentos normativos y metodológicos como su dimensión territorial y social.

El objetivo central es documentar y analizar, de manera rigurosa y accesible, el proceso de diseño eléctrico de una infraestructura pública en un territorio estratégico como Buenaventura. Este análisis se convierte en una oportunidad para comprender cómo se articulan las exigencias técnicas con los desafíos del entorno, y cómo una infraestructura bien diseñada puede convertirse en un instrumento de equidad territorial y desarrollo.

En ese sentido, el libro busca describir el marco normativo colombiano que regula las instalaciones eléctricas, incluyendo las principales resoluciones, normas técnicas y estándares internacionales adoptados.

Asimismo, pretende explicar los criterios y fundamentos que guiaron cada decisión técnica tomada en el proyecto, desde la selección de nivel de tensión hasta el análisis de riesgos y la elección de protecciones.

Más allá de la técnica, otro de los propósitos fundamentales es visibilizar la importancia de adaptar los diseños eléctricos a las condiciones geográficas, climáticas y sociales del territorio. En zonas como el litoral pacífico colombiano, donde la humedad, la alta densidad de descargas atmosféricas y las particularidades del suelo suponen retos adicionales, el diseño debe estar profundamente enraizado en el contexto.

Finalmente, el libro aspira a convertirse en una guía práctica y reflexiva, útil tanto para profesionales de la ingeniería como para estudiantes, funcionarios públicos y comunidades interesadas en comprender los alcances, límites y posibilidades del diseño eléctrico en infraestructuras públicas. De esta manera, se promueve no solo una cultura técnica rigurosa, sino también una visión crítica y comprometida con la calidad, la seguridad y la justicia territorial.

Metodología

El proceso de construcción de este libro responde a una metodología de transformación documental con enfoque académico, cuyo objetivo es convertir un insumo técnico especializado —las memorias de cálculo eléctrico del edificio ICETEX en Buenaventura— en una obra formativa, analítica y útil para distintos públicos: desde ingenieros y arquitectos hasta gestores públicos, estudiantes universitarios y comunidades interesadas en la infraestructura pública.

Esta metodología no se limita a la simple traducción del lenguaje técnico. Se trata de una relectura crítica y creativa que respeta el rigor ingenieril del documento original, pero que lo articula con el contexto territorial, normativo y humano en el que fue concebido. Así, el enfoque metodológico adoptado se fundamenta en cuatro fases secuenciales e interdependientes:

1. Sistematización técnica del documento base

Se realizó un análisis detallado del contenido original: Memorias de cálculo eléctricas – Edificio ICETEX Buenaventura. Esta revisión permitió identificar los elementos clave del diseño: criterios normativos, cálculos eléctricos, análisis de riesgos y decisiones técnicas. Cada sección fue categorizada por su función

(descriptiva, normativa, justificativa o analítica) y se organizaron fichas técnicas para facilitar su reescritura narrativa.

2. Reestructuración conceptual y narrativa

Se diseñó una estructura temática basada en la lógica de un texto académico, con progresión conceptual y cohesión narrativa. Este paso permitió organizar los contenidos en tres partes: fundamentos generales, caso de estudio y reflexiones técnicas. Además, cada capítulo se redactó buscando una combinación equilibrada entre precisión técnica y claridad comunicativa, facilitando así la comprensión de públicos no especializados.

3. Enriquecimiento contextual y bibliográfico

Para contextualizar el caso ICETEX Buenaventura, se incorporaron fuentes académicas y normativas complementarias que permitieran ampliar el marco conceptual. Se revisaron normas internacionales (IEC, IEEE), literatura especializada sobre diseño eléctrico en climas tropicales y estudios sobre infraestructura pública en contextos regionales. Esto permitió robustecer los análisis técnicos y añadir elementos de interpretación social y territorial.

4. Redacción y validación técnica-narrativa

La redacción del libro siguió una estrategia mixta: se conservó la rigurosidad de los datos y

cálculos, pero se adoptó un estilo narrativo humanizado. Cada capítulo integra un enfoque pedagógico que permite al lector recorrer conceptos complejos de forma accesible y progresiva. Adicionalmente, se aplicó una doble validación: técnica (verificación normativa y cálculo) y narrativa (fluidez, claridad y coherencia discursiva).

5. Enfoque transversal: contextualización territorial

Todo el proceso fue guiado por una visión territorial. Las decisiones de diseño y los análisis normativos se contextualizan en Buenaventura, ciudad portuaria de alta humedad, exposición atmosférica y exclusión histórica. Esto permite entender que un sistema eléctrico seguro no depende solo de normas, sino también de cómo estas se implementan en territorios específicos.

Parte I: Fundamentos del diseño eléctrico en edificaciones

Energía y territorio

En el corazón del desarrollo de un país no solo laten sus políticas públicas o sus grandes indicadores macroeconómicos. También palpitan, silenciosamente pero con fuerza vital, sus redes eléctricas. En efecto, la energía eléctrica es más que un recurso técnico: es una condición de posibilidad para la vida moderna, para la educación, la salud, la conectividad, la producción y, en última instancia, para la dignidad humana. Sin energía confiable, no hay Estado que llegue plenamente al territorio, ni derecho que pueda ejercerse con plenitud.

Las edificaciones públicas, como la sede del ICETEX en Buenaventura, son mucho más que estructuras físicas. Representan la presencia del Estado, la garantía de derechos y la posibilidad de integración territorial. Su diseño, y particularmente su sistema eléctrico, debe responder no solo a exigencias normativas, sino también a los desafíos propios del contexto geográfico y social donde se erigen.

Buenaventura, ciudad estratégica del Pacífico colombiano, encarna múltiples retos: alta

pluviosidad, exposición a descargas atmosféricas, humedad constante, suelos complejos y una larga historia de desigualdad estructural. Diseñar una infraestructura eléctrica en este contexto no puede ser un acto meramente técnico; debe ser también una intervención social, ambiental y territorialmente consciente.

Este libro parte de esa convicción: que cada cálculo, cada conductor seleccionado, cada medida de seguridad incorporada, es una decisión con impacto humano. La energía, en este sentido, se convierte no solo en un bien de consumo, sino en una herramienta para la equidad territorial y la justicia social.

Marco normativo colombiano en instalaciones eléctricas

El diseño eléctrico en Colombia se encuentra sustentado en un marco regulatorio técnico que ha evolucionado significativamente para responder a los retos de seguridad, eficiencia energética, sostenibilidad y cobertura que enfrentan las instalaciones eléctricas en el país. Este entramado normativo tiene como finalidad asegurar que cada componente de un sistema eléctrico —desde una acometida hasta una red de distribución interna— opere dentro de parámetros seguros para las personas, los bienes y el entorno.

En especial, cuando se trata de infraestructura pública, como hospitales, escuelas, universidades, centros administrativos o edificios institucionales, el cumplimiento riguroso de estas normas se convierte en una exigencia ineludible. No solo por los riesgos inherentes a las fallas eléctricas, sino también porque estas edificaciones albergan servicios esenciales, cuya continuidad debe estar garantizada bajo cualquier circunstancia.

En este sentido, las normas técnicas en Colombia no son recomendaciones. Son instrumentos jurídicos de obligatorio cumplimiento, y su inobservancia puede derivar en sanciones administrativas, pérdidas humanas, o deterioro institucional. A continuación, se presentan los tres pilares fundamentales que estructuran el marco normativo colombiano en instalaciones eléctricas:

El RETIE: Garantía normativa de seguridad eléctrica en Colombia

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) es mucho más que un compendio técnico: constituye una política pública en materia de seguridad eléctrica. Desde su adopción oficial en el año 2005, y

particularmente con su versión actualizada a través de la Resolución 90708 de 2013 del Ministerio de Minas y Energía, el RETIE se ha consolidado como la base normativa obligatoria para todos los proyectos de diseño, construcción, operación, inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas en Colombia.

Su finalidad es explícita y contundente: proteger la vida humana, preservar la integridad de los animales, los bienes y el medio ambiente, mediante la implementación de instalaciones eléctricas seguras, confiables y eficientes. Esta perspectiva convierte al RETIE en una herramienta regulatoria con enfoque de derechos humanos, cuya relevancia se multiplica cuando se trata de edificaciones de uso público como la sede del ICETEX en Buenaventura.

El RETIE no regula únicamente parámetros técnicos; establece condiciones éticas mínimas para el ejercicio responsable de la ingeniería eléctrica. Bajo su marco se exige no solo que las instalaciones funcionen, sino que lo hagan de manera segura, sostenible, duradera y verificable.

Ámbitos clave del RETIE aplicables al diseño eléctrico

El documento del RETIE está organizado en capítulos que abarcan diferentes aspectos de las instalaciones eléctricas. Entre los más relevantes para el diseño del edificio ICETEX Buenaventura, destacan los siguientes:

**a) Clasificación de los niveles de tensión –
Artículo 12**

El RETIE establece una clasificación normativa de los sistemas eléctricos en función de su nivel de tensión. Esta clasificación es fundamental para seleccionar equipos, establecer distancias de seguridad, dimensionar canalizaciones y definir el tipo de transformador requerido.

- Media tensión (MT), definida como el rango entre 1.000 V y 57,5 kV, es el nivel aplicado en el proyecto del ICETEX, que opera a 13,2 kV en su acometida principal. Esta elección determina no solo la arquitectura eléctrica, sino también las exigencias en cuanto a protección, aislamiento y puesta a tierra.

**b) Protección contra descargas atmosféricas –
Capítulo 14**

Colombia, y en particular regiones como Buenaventura, presenta una de las mayores incidencias de rayos del planeta, con una

densidad de descargas (DDT) que supera las 5,6 descargas/km²-año. El RETIE obliga a que toda instalación en estas zonas cuente con un sistema de protección contra rayos, tanto externo (pararrayos, sistemas de captación y conducción) como interno (protección de equipos sensibles, puesta a tierra funcional y equipotencialización).

En el edificio ICETEX, se implementó un Sistema Integral de Protección contra Rayos (SIPRA) que incluye cálculos normativos de riesgo, dispositivos de captación y conexión a la malla de puesta a tierra, cumpliendo con los criterios establecidos en la NTC 4552 y el RETIE.

c) Sistemas de puesta a tierra, aislamiento y canalizaciones – Capítulos 9, 10 y 15

El RETIE dedica varios capítulos a la exigencia de sistemas de protección activos y pasivos. Esto abarca:

- La correcta selección y verificación de los conductores.
- La implementación de mallas de puesta a tierra con valores de resistencia por debajo de los límites establecidos.
- La adecuada coordinación de aislamiento dieléctrico entre equipos de media y baja tensión.

- La disposición física y estructural de las canalizaciones, respetando porcentajes de ocupación y materiales certificados.

En el caso de la sede ICETEX, el sistema de puesta a tierra fue diseñado siguiendo la tabla 250-94 de la NTC 2050 y las especificaciones de la norma IEEE-80, utilizando soldadura exotérmica y terminales certificados para reducir la resistencia de contacto y mejorar la confiabilidad ante fallas.

d) Evaluación de riesgos eléctricos – Capítulo 9.4

Uno de los avances más importantes del RETIE es la introducción de matrices de análisis de riesgo eléctrico, similares a las utilizadas en salud ocupacional. Estas herramientas permiten categorizar los riesgos como potenciales o reales, analizar su frecuencia y severidad, y definir medidas correctivas en función de una valoración cualitativa.

En el proyecto analizado, se aplicó la Tabla 9.3 del RETIE para evaluar riesgos eléctricos durante la operación y mantenimiento, y se diseñaron acciones de mitigación específicas, como señalización, aislamiento de equipos y accesos restringidos a áreas técnicas.

Es importante señalar que el RETIE no distingue entre magnitudes de proyectos o presupuestos. Toda instalación eléctrica, desde una vivienda unifamiliar hasta una planta industrial o edificio público, debe cumplir con sus disposiciones. Sin embargo, su aplicación no es homogénea; se debe ajustar a la complejidad técnica, el entorno geográfico y la criticidad de la carga a ser alimentada.

En este sentido, el edificio ICETEX Buenaventura representa un ejemplo de aplicación progresiva, integral y contextualizada del RETIE, en el cual cada disposición técnica se interpretó en función de la seguridad de las personas, la continuidad operativa de los servicios y la sostenibilidad del sistema eléctrico en un territorio vulnerable.

El RETIE no es solo una obligación normativa. Es una herramienta de planeación responsable, una garantía de protección para los usuarios, y un estándar que eleva la calidad técnica de los proyectos eléctricos en Colombia. Su cumplimiento en el diseño del edificio ICETEX en Buenaventura garantiza no solo el funcionamiento adecuado de la instalación, sino también la protección de la vida humana en un entorno de alto riesgo eléctrico.

El verdadero desafío está en aplicar el RETIE no como una lista de requisitos burocráticos, sino como una brújula técnica y ética que guíe el

desarrollo eléctrico del país con enfoque territorial, equitativo y sostenible.

La NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano

En el contexto del diseño eléctrico en Colombia, la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 constituye uno de los pilares normativos fundamentales. Conocida también como el Código Eléctrico Colombiano, esta norma es una adaptación del National Electrical Code (NEC) de los Estados Unidos, armonizada a las condiciones técnicas, climáticas, materiales y operativas del país. Su propósito central es establecer los criterios técnicos necesarios para garantizar instalaciones eléctricas seguras, funcionales y eficientes, tanto en edificaciones residenciales como comerciales e institucionales.

A diferencia del RETIE, que establece requisitos generales de seguridad, el enfoque de la NTC 2050 es más operativo: se orienta a definir cómo debe diseñarse una instalación desde el punto de vista constructivo, dimensional y funcional. Es, por tanto, la norma que guía al diseñador eléctrico en la selección de equipos, el dimensionamiento de conductores, la definición de canalizaciones, la organización de tableros y la configuración de circuitos.

Aplicación de la NTC 2050 al diseño del edificio ICETEX Buenaventura

En el caso del proyecto eléctrico de la sede ICETEX en Buenaventura, la NTC 2050 fue aplicada rigurosamente para orientar el diseño detallado de todos los componentes del sistema. A continuación, se explican los aspectos clave de su implementación:

a) Selección y dimensionamiento de conductores eléctricos (Capítulo 3 y Art. 310)

Uno de los elementos más críticos del diseño eléctrico es la correcta selección del tipo, calibre y capacidad de los conductores. En este proyecto, se aplicaron las tablas 310-16 y 310-17, que definen los valores de corriente admisible según el tipo de aislamiento, la temperatura ambiente y el método de instalación.

Se utilizó conductor cobre libre de halógenos tipo XLPE 15 kV para la acometida de media tensión, y conductores THHN/THWN-2 para los circuitos de baja tensión. La selección tuvo en cuenta los factores de temperatura, agrupamiento de cables y longitud del trayecto, aplicando el coeficiente de corrección necesario para evitar sobrecalentamientos y pérdidas excesivas.

b) Diseño de circuitos ramales y alimentadores (Art. 220 y 215)

Los circuitos ramales, es decir, aquellos que llevan energía desde los tableros hasta las cargas finales (iluminación, tomas, aire acondicionado), fueron calculados según los criterios del Artículo 220, que establece la carga mínima por metro cuadrado, los factores de demanda y el balance por fases.

Asimismo, los alimentadores principales que interconectan los tableros eléctricos por piso fueron diseñados aplicando los valores de caída de tensión recomendados por la sección 215-2, limitando la pérdida de voltaje al 3 % por tramo y al 5 % total, tal como lo establece el código para asegurar eficiencia energética.

c) Dimensionamiento de canalizaciones (Capítulo 3, Sección 362 y 370)

La NTC 2050 regula también la selección de ductos, bandejas, cajas y demás elementos de canalización eléctrica. En el proyecto ICETEX, se aplicaron los criterios de la Sección 362-5 para el dimensionamiento de tuberías y el uso de bandejas portacables tipo ducto.

Se utilizó además la Tabla 370-16(a) para calcular el volumen requerido en cajas eléctricas, asegurando que la ocupación no

superara el 40 % del área útil en condiciones normales, ni el 60 % cuando se requería posibilidad de expansión.

d) Coordinación con dispositivos de protección (Capítulos 2 y 4)

La norma establece también las bases para la coordinación entre conductores, protecciones y cargas. Así, se seleccionaron interruptores termomagnéticos y diferenciales de acuerdo con la corriente de cortocircuito esperada, las características del conductor, y el tiempo de disparo aceptable.

Esta coordinación permite que en caso de falla el sistema se desconecte de manera segura, evitando riesgos de incendio, electrocución o daño a los equipos. Además, se verificó que cada circuito contara con un medio de desconexión accesible, conforme a lo requerido en el Artículo 240.

La NTC 2050 como instrumento de eficiencia y sostenibilidad

Más allá de los aspectos técnicos, la NTC 2050 también orienta el diseño hacia criterios de eficiencia energética. Al definir límites de caída de tensión, factores de demanda y ocupación de canalizaciones, la norma promueve instalaciones que reduzcan pérdidas eléctricas,

faciliten el mantenimiento, y estén preparadas para futuras ampliaciones sin colapsar la infraestructura existente.

Este enfoque es particularmente relevante en proyectos de infraestructura pública como el del ICETEX, donde las cargas pueden aumentar con el tiempo, y donde la sostenibilidad operativa es un criterio de calidad esencial.

La NTC 2050 cumple el papel de mapa operativo del diseño eléctrico. Mientras el RETIE fija las coordenadas éticas y legales de la seguridad eléctrica, la NTC 2050 ofrece las herramientas concretas para transformar esos principios en un diseño técnicamente viable, funcional y sostenible.

Aplicada de manera rigurosa y contextualizada, como en el caso del edificio ICETEX en Buenaventura, la norma no solo garantiza instalaciones conformes con la ley, sino también sistemas energéticos confiables y preparados para las exigencias del siglo XXI.

Normas internacionales complementarias (IEC, IEEE, NFPA)

El marco regulatorio colombiano para instalaciones eléctricas, conformado por el RETIE y la NTC 2050, permite explícitamente la incorporación de normas internacionales siempre que sean equivalentes o más estrictas

que las nacionales. Esta apertura normativa reconoce la necesidad de armonizar los estándares del país con los avances globales en seguridad eléctrica, eficiencia energética y gestión del riesgo.

En proyectos de infraestructura pública, como el edificio ICETEX en Buenaventura, estas normas internacionales no solo actúan como soporte técnico adicional, sino que permiten enfrentar con mayor precisión los desafíos específicos del entorno, tales como alta densidad de descargas atmosféricas, humedad constante, y presencia de sistemas eléctricos sensibles. A continuación, se presentan las principales normativas internacionales que complementaron el diseño eléctrico de este proyecto:

**a) Normas IEC 62305 (Partes 1 a 3):
Protección contra rayos**

Emitidas por la International Electrotechnical Commission (IEC), las normas IEC 62305-1, 62305-2 y 62305-3 conforman un conjunto robusto de directrices técnicas para el diseño de sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

- IEC 62305-1 establece los principios generales y define los conceptos básicos de la protección contra rayos.

- IEC 62305-2 introduce un enfoque de gestión del riesgo, mediante fórmulas cuantitativas que permiten evaluar la probabilidad de daño y sus consecuencias.
- IEC 62305-3 proporciona las especificaciones para el diseño físico de los sistemas de captación, bajantes y puesta a tierra.

En el diseño eléctrico del edificio ICETEX, estas normas fueron utilizadas para complementar los requerimientos de la NTC 4552 y el RETIE, especialmente en la evaluación del nivel de riesgo (NPR), la densidad de descargas esperada (DDT) y la configuración del sistema SIPRA. Esto garantizó una protección efectiva frente a las condiciones particulares de Buenaventura, una de las ciudades con mayor actividad eléctrica atmosférica en América Latina.

b) Normas IEEE Std 80 y IEEE Std 242: Puesta a tierra y análisis de protección

El Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ha desarrollado algunas de las normas más rigurosas a nivel internacional en materia de seguridad eléctrica. Entre ellas destacan:

- IEEE Std 80-2000: establece los lineamientos para el diseño de mallas de puesta a tierra en subestaciones, considerando tensiones de paso, contacto, resistencia de suelos y configuraciones geométricas. Esta norma fue clave para el diseño del sistema de puesta a tierra del ICETEX, asegurando valores de resistencia adecuados y minimizando el riesgo de electrocución.
- IEEE Std 242-2001 (Buff Book): es una guía especializada en la protección y coordinación de sistemas eléctricos en instalaciones industriales y comerciales. Se utilizó para calcular los valores de corriente de cortocircuito y seleccionar dispositivos de protección con características adecuadas de tiempo y capacidad de interrupción.

La aplicación de estas normas permitió una coordinación eficaz entre transformadores, protecciones, conductores y cargas, evitando desconexiones erráticas y mejorando la confiabilidad del sistema.

c) Normas NFPA 70 y NFPA 70E: Seguridad eléctrica y prevención de incendios

Las normas de la National Fire Protection Association (NFPA), especialmente las NFPA 70

(NEC) y NFPA 70E, tienen un papel esencial en la gestión del riesgo eléctrico en ambientes de trabajo y en edificaciones con alta densidad de ocupación.

- NFPA 70 (NEC) es la base del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050), y define los criterios técnicos fundamentales para el diseño y ejecución de instalaciones eléctricas.
- NFPA 70E se enfoca en la seguridad del trabajador eléctrico, estableciendo procedimientos para la prevención de incidentes por arco eléctrico, mantenimiento en caliente, señalización, distancias mínimas y uso de equipos de protección personal (EPP).

Aunque en el proyecto ICETEX no se incluyeron operaciones de mantenimiento en tensión, los lineamientos de la NFPA 70E sirvieron de referencia para la definición de protocolos de acceso restringido, señalización de riesgo y distancias de seguridad, especialmente en áreas como la subestación y los tableros generales.

Un diseño técnico con respaldo internacional

La incorporación de normas internacionales al diseño del edificio ICETEX en Buenaventura

no fue un acto accesorio, sino una necesidad técnica y territorial. Estas normas aportaron criterios actualizados para enfrentar los retos locales con herramientas de calidad global, fortaleciendo así la seguridad operativa y el cumplimiento normativo integral del proyecto.

Además, la convergencia entre normas colombianas e internacionales contribuye a elevar el estándar de las infraestructuras públicas, posicionando al país en un marco de interoperabilidad técnica que favorece la inversión, la confianza institucional y la modernización del sector eléctrico.

Fundamentos técnicos del diseño eléctrico para edificaciones públicas

El diseño eléctrico en edificaciones públicas es una actividad que articula ciencia, técnica y ética. Va más allá de los cálculos de carga o la selección de conductores. Se trata de crear sistemas capaces de sostener, de forma continua y segura, los servicios esenciales que el Estado garantiza a través de sus instituciones. En otras palabras, un sistema eléctrico bien diseñado no solo ilumina espacios: garantiza derechos.

Las edificaciones públicas albergan funciones críticas: educación, salud, justicia, ciencia,

cultura, tecnología. Por ello, el diseño eléctrico que las sustenta debe cumplir una serie de fundamentos que integran la normatividad nacional, las mejores prácticas internacionales y una lectura atenta del entorno territorial. A continuación, se desarrollan los principales principios que guiaron el diseño eléctrico de la sede del ICETEX en Buenaventura, pero que también resultan extrapolables a cualquier otro proyecto de infraestructura pública.

Evaluación de carga instalada y proyección de demanda

El punto de partida técnico en cualquier diseño eléctrico es el análisis de carga, es decir, la estimación de la demanda total de energía que requerirá la edificación. Este cálculo debe incluir las cargas permanentes (iluminación, tomas generales, sistemas de ventilación o refrigeración) y prever márgenes para ampliaciones o crecimiento futuro.

En el caso del ICETEX Buenaventura, se proyectó una demanda de 225 kVA, considerando los equipos instalados en los siete pisos del edificio. Para este fin se utilizó la metodología de cálculo contenida en el Artículo 220 de la NTC 2050, y se aplicaron factores de simultaneidad, correcciones por temperatura y distribución de fases para lograr un balance armónico.

La proyección de carga también es fundamental para seleccionar el tipo de transformador, el calibre de los conductores, las protecciones necesarias, y definir si se requiere un sistema de media o baja tensión. La anticipación a escenarios de expansión es una marca de calidad en el diseño eléctrico público.

Selección del nivel de tensión y configuración del sistema

El nivel de tensión define el tipo de arquitectura eléctrica del edificio y condiciona la selección de equipos, protecciones, canalizaciones y transformadores. En Colombia, el RETIE (Art. 12) clasifica los niveles de tensión en cinco rangos: muy baja, baja, media, alta y extra alta.

Para el edificio del ICETEX se eligió una configuración de media tensión (13,2 kV), alimentada a través de una acometida subterránea, con un transformador seco tipo pedestal de 225 kVA. Esta decisión obedeció a tres factores:

1. El nivel de carga proyectado superaba la capacidad de una red de baja tensión.
2. La conexión a la red del operador CELSIA exigía una entrada en media tensión.
3. El uso de transformador seco se justificó por seguridad (al ubicarse dentro de la

edificación) y por condiciones ambientales de alta humedad.

La selección del nivel de tensión también impacta en la cantidad y tipo de protecciones requeridas, así como en el sistema de puesta a tierra y el aislamiento dieléctrico de los componentes.

Sistemas de protección: sobrecorriente, cortocircuito y diferencial

Uno de los pilares técnicos del diseño eléctrico es la protección contra fallas. Un sistema debe ser capaz de interrumpir la energía ante un evento anómalo (sobrecarga, cortocircuito, fuga a tierra) sin generar riesgo para las personas o los equipos.

Para ello se implementaron tres tipos principales de protección:

- Protecciones termomagnéticas, que actúan ante sobrecarga o cortocircuito.
- Protecciones diferenciales (RCD), que detectan fugas de corriente y evitan electrocuciones.
- Fusibles e interruptores seccionales, que aíslan zonas ante fallas localizadas.

La coordinación entre estos dispositivos fue calculada utilizando la norma IEEE Std 242-2001, asegurando que cada protección opere dentro de su rango de respuesta y que el sistema no sufra desconexiones innecesarias.

Además, se respetaron los tiempos máximos de disparo exigidos por el RETIE para sistemas de media tensión, y se verificó la selectividad entre protecciones primarias y secundarias.

Puesta a tierra y equipotencialización

El sistema de puesta a tierra es el corazón silencioso de toda instalación segura. Su función es disipar a tierra las corrientes de falla, los impactos de rayos o las descargas electrostáticas, evitando que se acumulen tensiones peligrosas en las carcasas de los equipos o en las estructuras metálicas.

En el caso del edificio ICETEX, se diseñó una malla de puesta a tierra con conductores de cobre según lo dispuesto por la tabla 250-94 de la NTC 2050 y las especificaciones de la norma IEEE Std 80-2000. Esta malla conecta:

- El neutro del transformador.
- Las carcasas metálicas de tableros y canalizaciones.
- El sistema de pararrayos.

- Las masas expuestas de equipos eléctricos.

Las conexiones se realizaron con soldadura exotérmica, garantizando continuidad eléctrica y durabilidad, incluso en ambientes húmedos. El sistema fue verificado para cumplir con los niveles de resistencia de paso y contacto exigidos por el RETIE.

Eficiencia energética: pérdidas, regulación y calidad del suministro

Un sistema eléctrico bien diseñado debe ser energéticamente eficiente. Esto no solo implica ahorrar consumo, sino reducir las pérdidas internas del sistema, optimizar la caída de tensión y garantizar una calidad de suministro dentro de los parámetros aceptables.

En este proyecto se calcularon:

- Pérdidas por efecto Joule en los conductores, utilizando la fórmula $Pérdida = I^2 R$.
- Caída de tensión en cada circuito, asegurando que no superara el 3 % por ramal, ni el 5 % total, según las recomendaciones de la NTC 2050 y el NEC.
- Regulación de tensión, para verificar que todos los equipos recibieran un voltaje

dentro del rango de operación segura ($\pm 10\%$).

Estas medidas no solo reducen el consumo y el calentamiento de los materiales, sino que prolongan la vida útil de los equipos, disminuyen el mantenimiento y contribuyen a la sostenibilidad operativa del edificio.

Resiliencia y adaptabilidad al contexto territorial

Diseñar en Buenaventura implica enfrentar desafíos ambientales singulares: alta humedad relativa, salinidad, tormentas eléctricas frecuentes y variaciones bruscas de voltaje. Por ello, el diseño incluyó medidas adicionales como:

- Uso de cableado con aislamiento XLPE resistente a la humedad.
- Incorporación de protección contra sobretensiones transitorias (SPD) en tableros principales.
- Elección de canalizaciones cerradas y bandejas galvanizadas, para evitar la corrosión por salinidad.
- Aplicación de la NTC 4552 y las normas IEC 62305 para evaluar y mitigar el riesgo por rayos.

Estas decisiones muestran cómo el diseño eléctrico, aunque regulado por estándares técnicos, debe ser profundamente contextual, y adaptarse al entorno para asegurar funcionalidad, durabilidad y seguridad.

El diseño eléctrico en edificaciones públicas exige una mirada integral, que combine precisión técnica, cumplimiento normativo y lectura territorial. Cada decisión —desde el calibre de un conductor hasta el tipo de pararrayos instalado— tiene implicaciones prácticas, económicas y humanas.

El caso del edificio ICETEX en Buenaventura demuestra que un diseño bien fundamentado puede responder no solo a exigencias técnicas, sino también a desafíos ambientales y sociales, contribuyendo a fortalecer la infraestructura del Estado en regiones estratégicas y vulnerables.

Parte II: Estudio de caso – Edificio ICETEX Buenaventura

Características generales del proyecto

El edificio del ICETEX en Buenaventura representa mucho más que una obra de infraestructura administrativa. Es la materialización concreta de un esfuerzo institucional por fortalecer la presencia del Estado en una de las regiones más estratégicas, diversas y vulnerables del país. Buenaventura, ubicada sobre el litoral Pacífico colombiano, concentra cerca del 60 % de la carga marítima internacional que ingresa al territorio nacional, pero paradójicamente, ha enfrentado durante décadas condiciones estructurales de exclusión, pobreza y abandono institucional. En este contexto, la construcción de una sede propia del ICETEX no puede ser leída únicamente como una solución logística, sino como una decisión profundamente simbólica: se trata de abrir una puerta estable y digna al derecho a la educación superior en un territorio históricamente privado de oportunidades.

Ubicado en la calle 6ª #8-40 del barrio Nayita, el edificio fue concebido como una

infraestructura de uso institucional y atención al público, orientada a la prestación de servicios relacionados con la financiación de estudios, asesoría académica y gestión de beneficios educativos. Su diseño arquitectónico responde a una lógica funcional moderna, distribuido en siete niveles, con áreas administrativas, zonas de atención ciudadana, espacios técnicos, y ambientes especialmente acondicionados para el funcionamiento de sistemas eléctricos, de comunicaciones y de climatización. Todo ello se enmarca en una tipología de uso público que exige altos estándares en términos de seguridad, confiabilidad y sostenibilidad operativa.

Desde el punto de vista eléctrico, el proyecto se planificó como una instalación trifásica en media tensión, con acometida a 13,2 kilovoltios y una capacidad instalada de 225 kilovoltamperios, alimentada a través de un transformador seco tipo pedestal. Esta configuración fue seleccionada no solo por su eficiencia y adaptabilidad al entorno, sino también por las condiciones ambientales extremas del territorio: humedad relativa superior al 80 %, alta incidencia de rayos, presencia constante de niebla salina y condiciones de temperatura estables, pero elevadas. Estas variables implicaron el uso de materiales especiales, como conductores con aislamiento XLPE, canalizaciones cerradas y bandejas galvanizadas, así como un sistema de

protección contra descargas atmosféricas diseñado conforme a la norma NTC 4552 y los criterios establecidos por la IEC 62305.

El sistema eléctrico fue dimensionado para atender de forma equilibrada y segura las cargas de iluminación, tomas generales, equipos electrónicos, aire acondicionado, ascensores, y sistemas de comunicación. Para ello, se proyectó una distribución por pisos con tableros secundarios conectados a un tablero general, con reserva de espacio para futuras expansiones. Cada componente del sistema fue seleccionado con criterios de eficiencia energética, capacidad de respuesta ante fallas, facilidad de mantenimiento y durabilidad en condiciones tropicales húmedas. El proyecto también contempló márgenes de regulación de tensión y cálculos detallados de caída de voltaje, lo cual permitió optimizar el rendimiento general del sistema y evitar sobrecargas localizadas.

En cuanto al equipo profesional responsable, el diseño eléctrico fue elaborado por el Grupo de Ingeniería de la Universidad del Pacífico, bajo la dirección del ingeniero Lides Lerma, y con la participación activa de los ingenieros José Walter Caicedo (matrícula 66205-09885) y William Castillo (registro RS 205 0527 RDA). Su trabajo se basó en una lectura integral del contexto local y en una aplicación rigurosa de la

normatividad nacional vigente, entre ellas el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), la Norma Técnica Colombiana NTC 2050, y diversas normas internacionales complementarias, como la IEEE Std 80 para diseño de mallas de puesta a tierra y la IEEE Std 242 para coordinación de protecciones.

El edificio del ICETEX en Buenaventura fue concebido desde su diseño eléctrico como una estructura pensada para resistir, adaptarse y servir. Cada cálculo de carga, cada tramo de conductor, cada protección instalada, responde a la necesidad de ofrecer un servicio público de calidad, respaldado por una infraestructura sólida, segura y contextualizada. No es solo una red de cables y tableros; es una red de confianza que, al energizar el edificio, también electrifica una promesa social: la de que en Buenaventura, el acceso a la educación superior contará con la infraestructura que merece.

Criterios de diseño y metodología aplicada

El sistema eléctrico del edificio ICETEX en Buenaventura fue concebido y desarrollado bajo una visión que articula normativa técnica, conocimiento ingenieril aplicado, y lectura situada del entorno territorial. Desde el primer momento, el diseño no fue pensado como un ejercicio aislado de cálculo, sino como una

intervención estratégica con implicaciones sociales, operativas y ambientales. Cada decisión tomada —desde el tipo de transformador hasta la estructura de las canalizaciones— responde a un criterio técnico justificado y a una metodología rigurosa que garantizara la funcionalidad y seguridad de la instalación en un entorno tan complejo como el litoral Pacífico colombiano.

El primer criterio fundamental fue el cumplimiento normativo integral, orientado no solo a satisfacer los requisitos legales mínimos, sino a garantizar un estándar superior de calidad y sostenibilidad. El equipo de ingeniería se apoyó en las disposiciones del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), particularmente en lo establecido en su artículo 10.1, que detalla las exigencias para el diseño detallado en instalaciones nuevas de media tensión. A ello se sumaron los lineamientos operativos de la Norma Técnica Colombiana NTC 2050, en lo relativo al cálculo de cargas, selección de conductores, protección de circuitos, caída de tensión y ocupación de canalizaciones. La aplicación conjunta de estas normativas permitió desarrollar un sistema que no solo es legalmente conforme, sino también técnicamente sólido y preparado para operar de manera segura a largo plazo.

En segundo lugar, se adoptó un enfoque de diseño contextualizado, que reconociera las particularidades geográficas, climáticas y constructivas del territorio. Buenaventura presenta condiciones ambientales extremas: humedad constante, presencia de niebla salina, lluvias intensas y una de las densidades de descargas atmosféricas más altas del país. Estos factores condicionaron decisiones clave, como el uso de conductores con aislamiento termoplástico libre de halógenos, la selección de un transformador seco (que no requiere refrigeración por aceite), la implementación de canalizaciones galvanizadas cerradas, y la instalación de un sistema de protección contra rayos dimensionado con base en la NTC 4552 y las normas internacionales IEC 62305.

El diseño se estructuró en torno a una lógica de seguridad integral y confiabilidad operativa. Esto implicó garantizar continuidad del servicio, incluso ante contingencias como sobrecargas, cortocircuitos o eventos atmosféricos extremos. Para ello, se configuró una red trifásica balanceada, con distribución por pisos mediante tableros secundarios, coordinados a través de un tablero general principal. Cada tablero fue dimensionado para soportar no solo la carga actual proyectada, sino también una expansión razonable a futuro. Además, se cuidó la selectividad entre protecciones, utilizando interruptores termomagnéticos con curvas de

disparo específicas, así como protecciones diferenciales y supresores de sobretensión transitoria (SPD), especialmente en zonas con equipos de cómputo y comunicaciones.

Otro componente central fue el sistema de puesta a tierra, concebido no como un elemento accesorio, sino como el núcleo de la protección estructural del sistema. Se diseñó una malla de puesta a tierra unificada, conectada a las masas metálicas, al neutro del transformador, al sistema de pararrayos y a los tableros principales. Esta malla se ejecutó con conductores de cobre de sección adecuada, empleando soldadura exotérmica, y se verificó para asegurar niveles bajos de resistencia de contacto y de paso, conforme a las exigencias del RETIE y la norma IEEE Std 80. El objetivo era garantizar una rápida disipación de la energía en caso de falla, protegiendo tanto a las personas como a los equipos.

La metodología empleada se caracterizó por su carácter preventivo y proyectivo. Cada componente fue analizado bajo escenarios posibles de falla, crecimiento de carga, mantenimiento y actualización tecnológica. Por ello, se dejó espacio libre en bandejas y ductos, se diseñaron canalizaciones con márgenes superiores al 40 % de ocupación, y se seleccionaron tableros con barras sobredimensionadas. Se trató, en suma, de

construir una infraestructura no solo para el presente, sino para un horizonte operativo de al menos 20 años.

Desde la perspectiva de ejecución documental, las memorias de cálculo se elaboraron siguiendo el esquema del artículo 10.1.1 del RETIE, incluyendo análisis de cargas, coordinación de aislamiento, riesgos eléctricos, selección de protecciones, caída de tensión, regulación, pérdidas, transformador, puesta a tierra y canalizaciones. Cada uno de estos componentes fue documentado con base en datos técnicos precisos y justificado con fórmulas, planos y referencias normativas específicas. La metodología incluyó además la elaboración de diagramas unifilares, esquemas de conexión, y un set de planos eléctricos de construcción, con leyendas, simbología y distancias de seguridad claramente establecidas.

En conclusión, los criterios de diseño y la metodología aplicada en el proyecto eléctrico del edificio ICETEX Buenaventura reflejan una conjunción ejemplar entre normatividad, conocimiento técnico, lectura del territorio y compromiso institucional. No se trató simplemente de electrificar un edificio, sino de construir confianza a través de una infraestructura segura, resistente y pensada para el servicio público en un territorio que

exige más de lo mínimo. La electricidad, en este caso, no fue solo una cuestión de voltios y amperios, sino de dignidad, acceso y permanencia del Estado en una región que lo necesita con urgencia.

Análisis de carga eléctrica

Diseñar un sistema eléctrico no es simplemente atender la demanda inmediata de energía de una edificación. Es, ante todo, un ejercicio proyectivo que exige prever escenarios de uso, anticipar transformaciones funcionales y construir márgenes de seguridad que garanticen la continuidad operativa en el tiempo. En el caso del edificio del ICETEX en Buenaventura, este principio fue asumido como un eje estructural del diseño. Se trataba no solo de asegurar la capacidad energética para los equipos y servicios previstos en la actualidad, sino de dejar un sistema preparado para soportar el crecimiento futuro de la institución y adaptarse a nuevas tecnologías o formas de uso.

El análisis de carga eléctrica inició con una evaluación detallada de las características de uso del edificio. Al tratarse de una sede administrativa y de atención al público, con siete pisos distribuidos en oficinas, áreas comunes, salas técnicas y espacios de servicio, se consideraron diversas tipologías de carga: iluminación LED, tomas de corriente para estaciones de trabajo, equipos de cómputo,

unidades de aire acondicionado, sistema de comunicaciones, ascensores y cargas especiales en áreas técnicas. Cada una de estas cargas fue clasificada según su naturaleza (continua, intermitente, crítica, no crítica) y ubicada espacialmente en un plano de distribución eléctrica.

El cálculo de la demanda total se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en el Artículo 220 de la NTC 2050, que exige aplicar factores de demanda y simultaneidad, para evitar sobredimensionamientos costosos e innecesarios. A partir de este análisis, se proyectó una demanda instalada total de 225 kilovoltamperios (kVA). Esta cifra refleja no solo las cargas efectivas previstas, sino una reserva operativa que permite incluir nuevas cargas sin alterar la estabilidad del sistema. En términos prácticos, esto significa que los tableros eléctricos, las canalizaciones y el transformador fueron dimensionados con márgenes de crecimiento estimados en al menos un 20 % por encima de la carga prevista.

Una de las decisiones técnicas más relevantes fue la distribución vertical de la carga mediante tableros por piso. Cada nivel del edificio cuenta con un tablero seccional conectado al tablero general ubicado en el cuarto eléctrico, desde el cual se distribuye la energía de forma trifásica balanceada. Esta configuración permite no solo

un manejo más eficiente de las cargas, sino una respuesta más rápida ante fallas localizadas o necesidades de mantenimiento preventivo.

El diseño de los circuitos consideró cuidadosamente los valores de corriente nominal, la longitud de los tramos y las condiciones de instalación. Esto permitió seleccionar el calibre adecuado de los conductores, así como los dispositivos de protección asociados. Los cálculos de caída de tensión se realizaron para cada circuito ramal y alimentador, garantizando que la diferencia de voltaje entre la fuente y el punto de uso no superara el 3 %, conforme a lo estipulado por la NTC 2050 y el NEC. Este control es fundamental no solo para evitar pérdidas energéticas, sino para asegurar el correcto funcionamiento de equipos sensibles, como servidores, ascensores o sistemas de climatización.

Adicionalmente, se elaboraron cuadros de carga por fases, lo cual permitió balancear cuidadosamente la distribución de la energía entre las tres fases del sistema trifásico. Este balance es esencial para minimizar las corrientes de retorno por el neutro, evitar sobrecargas asimétricas y reducir las pérdidas por efecto Joule (I^2R). El diseño incluyó también circuitos independientes para cargas críticas, que pueden ser alimentados en el futuro desde un sistema de respaldo o planta eléctrica, si así

lo requiere el crecimiento del edificio o una eventual política institucional de continuidad del servicio.

Como parte de la metodología aplicada, se realizó un análisis de las pérdidas técnicas en conductores, considerando la resistencia eléctrica de los materiales y la intensidad promedio de corriente. Estas pérdidas se calcularon tramo por tramo, desde el transformador hasta los tableros secundarios, y permitieron optimizar la selección de conductores y reducir el calentamiento innecesario de los sistemas de distribución.

Una dimensión crucial del análisis de carga fue la estimación del factor de carga global del sistema, definido como la relación entre la demanda promedio y la capacidad instalada total. En este caso, el factor de carga fue estimado en 0,75, lo que indica un uso eficiente del sistema, con márgenes adecuados para enfrentar picos de demanda sin comprometer la estabilidad. Este valor también evidencia un equilibrio razonable entre economía del diseño y robustez estructural.

Otro aspecto relevante fue la flexibilidad incorporada al sistema eléctrico, que se manifestó tanto en el diseño de los tableros —dotados con espacios libres y barras sobredimensionadas— como en la elección de canalizaciones, cuyo porcentaje de ocupación se

mantuvo por debajo del 40 %, tal como recomienda la norma, para facilitar futuras ampliaciones. Esta decisión técnica revela una concepción moderna de la infraestructura eléctrica como sistema vivo, que debe estar preparado para acompañar el crecimiento de la institución a lo largo del tiempo.

Finalmente, el análisis de carga eléctrica del edificio ICETEX en Buenaventura no puede entenderse como un ejercicio de cálculo estático. Fue, ante todo, una estrategia de planeación técnica pensada para garantizar continuidad operativa, eficiencia energética y sostenibilidad institucional. A través de un enfoque proyectivo, normativamente riguroso y territorialmente pertinente, el sistema diseñado permite que el edificio cumpla con sus funciones sin interrupciones, minimizando riesgos, reduciendo pérdidas y ofreciendo márgenes claros de evolución tecnológica. En ese sentido, la infraestructura eléctrica no solo sostiene un edificio: sostiene el compromiso del Estado con el acceso a la educación en un territorio que lo ha reclamado con urgencia y dignidad.

Coordinación de aislamiento eléctrico

La coordinación de aislamiento eléctrico constituye uno de los elementos más delicados y críticos en el diseño de un sistema de

distribución, especialmente en instalaciones que operan en media tensión y en entornos climáticamente complejos como Buenaventura.

Este proceso técnico busca asegurar que todos los componentes del sistema —desde los conductores hasta los equipos terminales— cuenten con niveles de aislamiento adecuados frente a las tensiones eléctricas que podrían llegar a soportar durante su operación normal y, sobre todo, ante condiciones transitorias o de falla.

No se trata simplemente de seleccionar materiales con recubrimientos dieléctricos. La coordinación de aislamiento implica establecer una relación armónica entre el esfuerzo dieléctrico soportado por el sistema y el nivel de tensión real al que puede estar expuesto, ya sea por maniobras, sobretensiones, descargas atmosféricas o fallas internas.

En el caso del edificio ICETEX en Buenaventura, este proceso tuvo un peso especial debido a tres factores: el uso de un sistema en media tensión (13,2 kV), la presencia de altos niveles de humedad ambiental y niebla salina, y el riesgo significativo de sobretensiones inducidas por rayos.

Estos elementos exigieron una cuidadosa selección y verificación de todos los elementos sometidos a tensión: transformador,

conductores de acometida, tableros, celdas de media tensión, sistemas de protección y canalizaciones.

La normatividad colombiana exige que toda instalación en media tensión cumpla con lo dispuesto por el RETIE en su capítulo sobre aislamiento, así como con los criterios técnicos establecidos en la NTC 2050 y en normas internacionales como la IEC 60071 y la IEEE Std 1313.2. Estas últimas ofrecen parámetros detallados sobre coordinación de aislamiento en sistemas eléctricos de potencia.

Uno de los pasos fundamentales fue la definición del nivel básico de aislamiento (BIL) requerido para cada equipo. En redes con tensión nominal de 13,2 kV, el BIL mínimo exigido por norma es de 110 kV de impulso tipo rayo. Esto garantiza que el equipo no sufra perforación o daño irreversible ante una sobretensión de origen atmosférico o conmutacional.

El transformador seco seleccionado para el edificio, así como las celdas de protección en media tensión, fueron certificados para este BIL, conforme a la norma IEC 60076-11, que regula transformadores secos con envolvente cerrada.

Además de los niveles de impulso, se verificó el aislamiento a frecuencia industrial (60 Hz), que representa la tensión que los materiales

pueden soportar durante un minuto sin sufrir fallas. Este ensayo, que forma parte de los protocolos de prueba de fábrica, garantiza que los elementos resistan tensiones superiores al valor nominal sin comprometer la seguridad.

La coordinación de aislamiento no se limita a los componentes de media tensión. También debe garantizarse en el sistema de baja tensión, donde el diseño se enfrenta a otro tipo de retos, como el riesgo de contacto directo o indirecto, los cortocircuitos por fallas de aislamiento, y la proximidad física entre conductores energizados y estructuras metálicas.

En este nivel, se utilizaron conductores tipo THHN/THWN-2, con aislamiento termoplástico resistente a la humedad y a la acción de agentes químicos. Los tableros eléctricos fueron seleccionados conforme a la norma IEC 61439, con envolventes de acero con recubrimiento anticorrosivo, y grado de protección IP suficiente para evitar la entrada de agua y polvo.

El sistema de canalización, por su parte, fue diseñado con bandejas tipo ducto y tubería EMT, selladas en extremos y con soportes aislantes, para evitar puntos de concentración de humedad. Esta decisión fue clave en un entorno como el de Buenaventura, donde la condensación puede deteriorar el aislamiento y generar fugas de corriente o arcos eléctricos.

Otro elemento crucial fue la protección contra sobretensiones, tanto en media como en baja tensión. Se instalaron dispositivos de protección contra transientes (SPD) en los tableros principales, lo cual reduce significativamente la probabilidad de que una sobretensión dañina degrade el aislamiento interno de los equipos.

La integración de estos dispositivos forma parte de una estrategia amplia de coordinación de aislamiento, en la que los límites superiores de tensión soportada se alinean con los límites máximos que podrían presentarse en la operación del sistema.

En términos conceptuales, puede decirse que el objetivo del diseño fue establecer una zona segura de funcionamiento para cada componente, de forma que los niveles de tensión aplicados se mantuvieran siempre por debajo del umbral de daño de los materiales, aún en condiciones extremas.

Este principio de coordinación permite no solo proteger equipos costosos, sino prevenir fallas que puedan derivar en incendios, interrupciones del servicio o accidentes eléctricos. En una edificación pública como esta, que atiende diariamente a decenas de usuarios, el aislamiento no es solo un asunto técnico: es una barrera de protección para la vida.

Por todo lo anterior, el diseño del sistema eléctrico del edificio ICETEX en Buenaventura incluyó una estrategia integral de coordinación de aislamiento, respaldada en normas nacionales e internacionales, adaptada a las condiciones ambientales del territorio y ejecutada con materiales certificados. Esta decisión no solo asegura el desempeño del sistema a corto plazo, sino su confiabilidad operativa a lo largo del tiempo.

Análisis de cortocircuito y falla a tierra

En el diseño de un sistema eléctrico moderno y seguro, el análisis de cortocircuito y falla a tierra no constituye una etapa secundaria o complementaria. Al contrario, se trata de uno de los pilares fundamentales sobre los cuales se construye la arquitectura de la protección eléctrica. No basta con definir la capacidad nominal de los equipos; es indispensable anticipar el comportamiento del sistema ante situaciones anómalas, y diseñar medidas que permitan actuar con rapidez, eficacia y selectividad.

En el caso del edificio ICETEX en Buenaventura, el análisis de cortocircuito y falla a tierra respondió a esta lógica preventiva y estratégica. Dado que la instalación opera en media tensión, con una acometida de 13,2 kV y

un transformador seco de 225 kVA, el sistema posee una potencia de cortocircuito considerable que, en caso de falla, podría superar varias veces la corriente nominal de operación. Esta realidad técnica implicó la necesidad de realizar cálculos detallados en distintos puntos de la red, para garantizar que los dispositivos de protección respondieran de manera oportuna y coordinada, sin generar desconexiones innecesarias ni dejar zonas sin defensa.

El análisis se realizó tomando como referencia la metodología de la norma IEEE Std 242-2001, ampliamente utilizada para instalaciones industriales y comerciales. En primer lugar, se estimó la corriente de cortocircuito máxima en el secundario del transformador, utilizando la impedancia declarada por el fabricante, que en este caso fue del 6 %. Aplicando la fórmula estándar para transformadores trifásicos, se determinó que la corriente de cortocircuito simétrica inicial podía alcanzar valores cercanos a los 5.000 amperios.

Este dato resultó clave para seleccionar los interruptores principales del sistema. Se eligieron dispositivos con capacidad de ruptura superior al valor calculado, considerando además el factor de seguridad requerido por la IEC 60947-2. En el caso de los tableros secundarios, las protecciones se diseñaron con

un criterio de coordinación selectiva, de manera que una falla localizada en un circuito no provocara la desconexión de todo el sistema, sino únicamente del tramo afectado.

Además del cortocircuito trifásico, se estudió con atención el comportamiento del sistema ante fallas monofásicas a tierra, especialmente relevantes en configuraciones con neutro aterrizado, como es el caso del sistema instalado en el ICETEX. Estas fallas, aunque generan menor corriente que un cortocircuito entre fases, implican riesgos significativos para las personas, pues pueden inducir tensiones peligrosas en las carcasas metálicas de los equipos o en las superficies expuestas.

Para controlar estos riesgos, se integró el análisis de falla a tierra con el diseño del sistema de puesta a tierra, asegurando una resistencia de dispersión inferior a los límites establecidos por el RETIE. En ambientes húmedos, como los que predominan en Buenaventura, la norma recomienda mantener la tensión de contacto por debajo de los 25 voltios, y la de paso por debajo de los 50 voltios, en condiciones de falla. La malla de puesta a tierra fue diseñada con conductores de cobre desnudo, soldadura exotérmica y geometría cerrada, siguiendo las recomendaciones de la IEEE Std 80-2000.

El sistema de protección diferencial se incorporó en tableros críticos para detectar

fugas de corriente hacia tierra, lo cual permite desconectar rápidamente la alimentación en caso de daño en el aislamiento. Esta medida no solo protege a las personas, sino que también evita la degradación progresiva del sistema eléctrico.

Uno de los valores añadidos del análisis realizado fue la elaboración de escenarios. Se simularon distintas configuraciones de carga, distribución y ubicación de las fallas, para verificar la respuesta del sistema ante condiciones reales de operación. Esta modelación permitió afinar los tiempos de disparo, ajustar los calibres de los conductores, y definir los niveles de coordinación entre los diferentes dispositivos de protección.

Cabe resaltar que los efectos del cortocircuito no son únicamente eléctricos. También tienen consecuencias térmicas y mecánicas, que pueden dañar los aislamientos, deformar los conductores, provocar incendios o poner en riesgo la integridad estructural del sistema. Por eso, se verificó que los materiales seleccionados —tanto los conductores como los elementos de sujeción y canalización— contaran con certificaciones de resistencia mecánica al cortocircuito, conforme a lo dispuesto por la NTC 2050 y la norma IEC 61439.

En instalaciones públicas, donde la continuidad del servicio es fundamental y donde

los usuarios no siempre están capacitados para identificar señales de falla, el sistema de protección debe ser automático, confiable y silencioso. Esto fue una premisa de diseño en el proyecto ICETEX Buenaventura: asegurar que el sistema pueda protegerse a sí mismo y recuperar su estabilidad sin intervención externa en la mayoría de los casos.

El análisis de cortocircuito y falla a tierra no debe verse como una medida correctiva, sino como un componente activo del diseño preventivo. En este caso, fue una herramienta de anticipación que permitió construir un sistema eléctrico no solo robusto, sino resiliente. Uno que responde a las condiciones del territorio, que protege a quienes trabajan y asisten al edificio, y que sostiene la infraestructura institucional con inteligencia y responsabilidad.

Buenaventura exige soluciones que reconozcan su realidad ambiental, pero que no resignen calidad. Por ello, el sistema eléctrico aquí descrito es también una forma de hacer justicia técnica: una infraestructura pública diseñada para resistir, durar y servir.

Evaluación del riesgo por rayos y medidas de protección atmosférica

En regiones como Buenaventura, el diseño eléctrico de cualquier edificación debe incorporar, de manera explícita y prioritaria, una estrategia integral de protección contra descargas atmosféricas. Este no es un requerimiento opcional, sino una necesidad técnica, ambiental y normativa, justificada tanto por la alta incidencia de tormentas eléctricas en la región como por la obligación de preservar la vida, la infraestructura y los servicios que allí se prestan.

Colombia es uno de los países con mayor actividad eléctrica atmosférica en el mundo, y el litoral Pacífico —donde se ubica Buenaventura— concentra buena parte de esta dinámica. Según el mapa isoceráunico nacional, esta zona presenta un nivel ceráunico promedio de 180 días tormentosos al año, lo que implica una densidad de descargas a tierra estimada en 5,6 descargas por kilómetro cuadrado por año. Esta condición climática convierte a cualquier estructura urbana en un blanco potencial de impacto directo o inducido por rayos.

El diseño eléctrico del edificio ICETEX tuvo en cuenta estas condiciones desde su concepción. En cumplimiento de lo exigido por el RETIE, la NTC 4552 (partes 1, 2 y 3) y la IEC 62305, se

realizó una evaluación cuantitativa del riesgo por rayos, utilizando modelos matemáticos y criterios establecidos internacionalmente para estimar la probabilidad de impacto, el nivel de daño esperado y la necesidad de adoptar medidas de protección.

Esta evaluación tomó como variables la ubicación geográfica, la altura y el área del edificio, el tipo de estructura, el uso del inmueble, el valor económico y funcional de los servicios que alberga, y la exposición de sus redes de acometida eléctrica. El resultado del cálculo, realizado con apoyo de software especializado, arrojó una clasificación de riesgo alto, lo cual obligaba, según la norma, a implementar un sistema integral de protección contra rayos.

Se procedió entonces al diseño de un sistema SIPRA (Sistema Integral de Protección contra Rayos), compuesto por tres subsistemas interdependientes: captación externa, conducción y puesta a tierra, y protección interna de equipos sensibles.

El sistema de captación fue conformado por pararrayos tipo Franklin instalados en la parte superior de la edificación, conectados a bajantes de cobre que conducen la energía del rayo de forma segura hasta el sistema de puesta a tierra. Se cuidó que las bajantes siguieran trayectorias lo más rectas posible, sin curvas cerradas, y que

se instalaran con soportes dieléctricos adecuados a la intemperie.

La malla de puesta a tierra del sistema de protección contra rayos fue interconectada con la malla general del sistema eléctrico del edificio, siguiendo el principio de equipotencialización. Esto evita diferencias de potencial peligrosas entre las masas metálicas expuestas, las estructuras del edificio y los equipos conectados a la red.

En el plano de la protección interna, se instalaron dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias (SPD) en los tableros generales y en los tableros de distribución de áreas con equipos críticos, como salas de cómputo y sistemas de comunicación. Estos dispositivos disipan de manera controlada los picos de voltaje que pueden inducirse por rayos cercanos, evitando así daños en los componentes electrónicos más sensibles.

Adicionalmente, se elaboró un plan de mantenimiento y verificación periódica del sistema SIPRA, que incluye inspecciones visuales, mediciones de continuidad eléctrica y ensayos de resistencia de puesta a tierra. Este plan fue documentado en los anexos técnicos del proyecto, con el fin de garantizar la funcionalidad sostenida del sistema a lo largo del tiempo.

Cabe destacar que, más allá del cumplimiento normativo, la implementación de este sistema representa una medida de protección de los derechos y la vida de las personas que trabajan o asisten a la sede del ICETEX. También garantiza la preservación de equipos, la continuidad del servicio institucional y la sostenibilidad operativa del edificio ante fenómenos naturales de alta energía.

La descarga atmosférica, aunque impredecible en su momento exacto de ocurrencia, puede y debe ser gestionada técnicamente. El proyecto del ICETEX en Buenaventura lo demuestra: se pueden diseñar infraestructuras públicas que no solo resistan el entorno, sino que se integren de manera segura en él. En contextos de alta vulnerabilidad climática como el Pacífico colombiano, el pararrayos es más que un dispositivo: es una declaración de respeto por el territorio, por la ciencia y por la vida.

Evaluación del riesgo por rayos y medidas de protección atmosférica

La protección contra descargas atmosféricas es una dimensión crucial del diseño eléctrico moderno, especialmente en territorios con alta densidad de tormentas eléctricas, como lo es el litoral Pacífico colombiano. Buenaventura, por su ubicación geográfica y condiciones climáticas,

figura entre las regiones más afectadas por la actividad eléctrica atmosférica en el país. Según el mapa isoceráunico nacional, esta zona puede registrar hasta 180 días de tormentas eléctricas al año, lo que se traduce en una densidad de descargas a tierra (DDT) de aproximadamente 5,6 eventos por kilómetro cuadrado por año. Esta condición representa un riesgo constante para las edificaciones, los sistemas eléctricos y, especialmente, para la vida de las personas que los habitan o transitan.

Conscientes de esta realidad, los responsables del diseño eléctrico del edificio ICETEX en Buenaventura abordaron la protección contra rayos no como una medida secundaria, sino como un eje estructural del proyecto. El análisis se desarrolló conforme a lo estipulado por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), en conjunto con la norma NTC 4552 en sus tres partes y las directrices internacionales IEC 62305. Estas normativas proporcionan los marcos conceptuales y metodológicos para calcular el riesgo, determinar su aceptabilidad, y diseñar un sistema de protección adecuado al entorno y a la función del inmueble.

La primera etapa fue la evaluación del nivel de riesgo, para lo cual se aplicó el procedimiento propuesto en la NTC 4552-2. Este incluye el cálculo de varios factores: el número de rayos que puede impactar la estructura, la

probabilidad de daño por cada tipo de descarga, la presencia de sistemas expuestos como acometidas o redes aéreas, y las consecuencias esperadas (humanas, económicas, funcionales y patrimoniales). Al consolidar estos datos, se obtuvo una matriz de riesgo cuyo resultado fue categorizado como riesgo alto, lo cual hizo obligatoria la implementación de un Sistema Integral de Protección contra Rayos (SIPRA).

El SIPRA diseñado para el edificio contempla tres subsistemas fundamentales: el sistema de captación externa, el sistema de conducción y puesta a tierra, y el sistema de protección interna contra sobretensiones. Esta triada funcional permite interceptar el rayo, conducir su energía de forma segura hasta tierra, y evitar que los efectos inducidos dañen equipos o afecten la integridad de las instalaciones.

El sistema de captación externa está conformado por pararrayos tipo Franklin ubicados estratégicamente en los puntos más altos de la edificación. Se diseñó una red de cobertura geométrica que asegura que cualquier descarga que se aproxime al volumen del edificio sea interceptada por estos dispositivos. Se verificó que la distancia entre captores y la altura respecto al plano de protección fueran suficientes para cubrir completamente la estructura, según los criterios definidos en la NTC 4552-1.

Desde los pararrayos, la energía se conduce a través de bajantes de cobre electrolítico, de sección adecuada, ubicadas en fachadas opuestas, minimizando así la resistencia y la inductancia del trayecto. Las bajantes fueron instaladas siguiendo trayectorias rectas, sin curvas cerradas, evitando cambios de dirección que podrían inducir tensiones internas peligrosas por reflejos o arcos. El material de sujeción y los aisladores fueron seleccionados específicamente para soportar la exposición permanente a la intemperie y a la niebla salina.

Estas bajantes convergen en una malla de puesta a tierra común, interconectada con la puesta a tierra del sistema eléctrico general, garantizando una equipotencialización efectiva. Esta condición es indispensable para evitar diferencias de potencial que puedan generar tensiones peligrosas entre estructuras metálicas o entre carcasas de equipos y el suelo. El sistema de puesta a tierra fue diseñado conforme a los parámetros de la IEEE Std 80, y construido con conexiones mediante soldadura exotérmica, que ofrecen alta durabilidad en condiciones ambientales adversas.

La tercera dimensión del sistema —la protección interna— se centró en la instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias (SPD), tanto en el tablero general como en tableros secundarios y

en puntos de conexión de cargas sensibles. Estos dispositivos actúan como válvulas de escape frente a los picos de tensión inducidos por descargas cercanas, descargando esa energía de forma segura hacia tierra sin afectar los equipos conectados.

Este tipo de protección es especialmente importante en instalaciones como la del ICETEX, donde coexisten servidores, computadores, sistemas de comunicación, climatización y control. Un solo pulso transitorio no contenido puede dañar de manera irreversible estos equipos, generar pérdidas económicas y comprometer la operación de los servicios institucionales.

Adicionalmente, el diseño incluyó un plan de mantenimiento y monitoreo periódico del sistema de protección. Este contempla inspecciones visuales de pararrayos y bajantes, medición de la resistencia de la puesta a tierra, verificación de continuidad eléctrica, y pruebas funcionales de los SPD. Estos protocolos fueron incorporados como parte del manual técnico del edificio, asegurando que el sistema mantenga su operatividad a lo largo del tiempo y que no se degrade por falta de revisión.

Cabe destacar que todas estas acciones no obedecen únicamente al cumplimiento de una norma técnica. En contextos de alta vulnerabilidad climática y social como

Buenaventura, el sistema de protección contra rayos es, además, una garantía de permanencia del Estado. Protege los derechos de los usuarios, asegura la integridad del personal, evita interrupciones en el servicio y resguarda la inversión pública representada en la infraestructura.

La descarga atmosférica, por impredecible que sea, puede ser gestionada. El proyecto del edificio ICETEX demuestra que es posible diseñar edificaciones públicas que, incluso en contextos de riesgo extremo, se comporten con solidez, confiabilidad y compromiso técnico. El pararrayos, en este sentido, se convierte en una forma de dignidad: una decisión técnica que protege la vida, resguarda el saber, y asegura que la presencia institucional no se apague ni siquiera en medio de la tormenta.

Riesgos eléctricos y medidas para mitigarlos

La energía eléctrica, indispensable para el funcionamiento moderno de las instituciones, conlleva también una serie de riesgos latentes que deben ser evaluados y gestionados desde la fase de diseño. Estos riesgos no solo afectan la integridad de los sistemas técnicos, sino que pueden tener consecuencias graves para la vida humana, el medio ambiente y la continuidad de los servicios. En este contexto, hablar de riesgos

eléctricos no es simplemente abordar fallas o accidentes, sino reconocer el potencial destructivo que puede tener un sistema mal diseñado, mal instalado o mal mantenido.

En el caso del edificio ICETEX en Buenaventura, esta conciencia del riesgo fue incorporada como principio rector desde las etapas iniciales del diseño. Se trataba de construir un sistema que, además de ser técnicamente eficiente, fuese también seguro, confiable y capaz de proteger a quienes trabajan, estudian o transitan por sus espacios. Para ello, se aplicó un enfoque estructurado de identificación, análisis y mitigación del riesgo eléctrico, basado en la normativa vigente y adaptado a las particularidades territoriales del entorno.

La metodología utilizada se fundamentó en el capítulo 9 del RETIE, particularmente en la Tabla 9.3, que propone una matriz cualitativa de evaluación del riesgo eléctrico. Esta herramienta permite clasificar los riesgos de acuerdo con la frecuencia esperada de ocurrencia (de muy improbable a frecuente) y la severidad de sus consecuencias (de insignificante a catastrófica). Con base en esta matriz, se desarrolló un ejercicio sistemático de evaluación de todos los subsistemas eléctricos del edificio, desde la acometida de media tensión hasta los circuitos terminales.

Uno de los principales hallazgos fue la presencia de varios riesgos potenciales de categoría media y alta, asociados a:

- La exposición de personal no técnico a zonas energizadas.
- La operación continua de equipos electrónicos sensibles.
- Las condiciones climáticas extremas de humedad, salinidad y descargas atmosféricas.
- La posibilidad de fallas internas por sobrecarga, cortocircuito o contacto indirecto.

Estos riesgos no eran, por sí mismos, inevitables. Pero sí requerían un diseño activo de mitigación, que involucrara soluciones técnicas, protocolos operativos y medidas formativas para garantizar un entorno seguro.

En el plano técnico, se implementaron múltiples estrategias. Se diseñaron canalizaciones cerradas y debidamente selladas para proteger los conductores del ingreso de humedad o materiales corrosivos. Todos los tableros de distribución fueron ubicados en áreas de acceso restringido, con cerraduras, señalización de advertencia y ventilación adecuada.

En las zonas accesibles al público, se utilizaron protecciones diferenciales tipo A y AC, que permiten detectar y desconectar automáticamente cualquier fuga de corriente que pueda representar un riesgo para las personas. Esta medida es fundamental en oficinas de atención al ciudadano, donde los usuarios pueden entrar en contacto, incluso indirecto, con equipos conectados a la red.

Además, el sistema de protección contra sobretensiones fue reforzado con dispositivos SPD instalados en puntos estratégicos, reduciendo así la probabilidad de que una descarga atmosférica cercana o una maniobra eléctrica provoque daños por tensión inducida.

En cuanto a la puesta a tierra, se diseñó una malla unificada que conecta todas las masas metálicas expuestas, el neutro del transformador, las estructuras de protección contra rayos y los tableros principales. Esta integración no solo cumple con los principios de equipotencialización establecidos por la NTC 2050, sino que reduce significativamente los riesgos de tensiones peligrosas por contacto o paso.

A nivel operativo, se elaboró un plan detallado de mantenimiento preventivo. Este incluye revisiones mensuales del estado de las canalizaciones, pruebas semestrales de disparo de interruptores diferenciales, mediciones

anuales de la resistencia del sistema de puesta a tierra, y termografías infrarrojas para identificar puntos calientes o conexiones deficientes.

El mantenimiento fue diseñado no como una tarea reactiva, sino como una política institucional sostenida. Para ello, se entregaron al operador del edificio los manuales técnicos, fichas de inspección y protocolos de respuesta ante emergencias eléctricas, con el objetivo de institucionalizar una cultura de prevención.

Finalmente, en el plano formativo, se implementó una estrategia de educación básica en riesgos eléctricos dirigida al personal administrativo y de mantenimiento. Esta formación incluye el reconocimiento de señales de falla, el manejo seguro de equipos energizados, y las acciones inmediatas a tomar en caso de incidente. Además, se capacita al personal para identificar y reportar condiciones anómalas, promoviendo una vigilancia activa del sistema.

Esta dimensión pedagógica es esencial. Porque ningún sistema, por robusto que sea, está exento de fallos. Pero un entorno con usuarios conscientes y capacitados tiene una capacidad mucho mayor de anticipar y contener cualquier evento peligroso.

En territorios como Buenaventura, donde las condiciones ambientales y sociales elevan la

exposición al riesgo, una infraestructura eléctrica segura no es un privilegio: es un deber ético del Estado y de los profesionales que intervienen en su diseño. Proteger la vida, garantizar el servicio, y cuidar los recursos públicos son principios que, cuando se integran en el sistema eléctrico, se traducen en confianza institucional, continuidad operativa y dignidad para quienes habitan los espacios públicos.

El edificio del ICETEX, en este sentido, no es solo una construcción con redes y tableros. Es una apuesta técnica por un servicio que no falle, por una energía que no cause daño, y por un entorno que sepa prevenir para poder servir.

Nivel de tensión y requisitos normativos

Una de las decisiones más importantes en cualquier diseño eléctrico es la determinación del nivel de tensión que utilizará el sistema. Esta elección no es arbitraria ni depende únicamente del tamaño de la edificación: responde a criterios técnicos rigurosos, a exigencias normativas nacionales e internacionales, y a las condiciones de conectividad impuestas por el operador de red local. El nivel de tensión define, en gran medida, la arquitectura del sistema, la selección de equipos, la seguridad de las instalaciones y la eficiencia del suministro.

En Colombia, el RETIE establece en su Artículo 12 la clasificación oficial de los niveles de tensión para sistemas en corriente alterna. Esta clasificación distingue entre:

- Muy baja tensión (MBT): hasta 25 voltios.
- Baja tensión (BT): de 25 a 1.000 voltios.
- Media tensión (MT): mayor a 1.000 V y hasta 57,5 kV.
- Alta tensión (AT): de 57,5 a 230 kV.
- Extra alta tensión (EAT): superior a 230 kV.

De acuerdo con esta clasificación, el edificio ICETEX en Buenaventura fue diseñado para operar en media tensión (13,2 kV), con un sistema de transformación que reduce la tensión a 220/127 V para uso interno en la red de distribución. Esta configuración es coherente con el tipo de carga previsto, la demanda instalada (225 kVA), y las condiciones técnicas del operador de red, en este caso CELSIA, quien entrega el suministro en media tensión para usuarios institucionales con esta capacidad de demanda.

La elección de media tensión conlleva una serie de requisitos normativos específicos, tanto para la acometida como para la instalación de transformación, protección y puesta a tierra. En primer lugar, el transformador utilizado debe cumplir con lo dispuesto por la norma IEC

60076-11, que regula los transformadores secos, y estar certificado por una entidad acreditada conforme al RETIE. En este caso, se optó por un transformador seco tipo pedestal de 225 kVA, con relación de transformación de 13.200/220-127 V, aislamiento clase F y sistema de ventilación natural (AN), adecuado para ambientes interiores con alta humedad relativa.

El sistema de media tensión también exige el uso de celdas modulares de protección para seccionamiento, medición y maniobra. Estas celdas, utilizadas en la entrada del transformador, fueron seleccionadas conforme a la norma IEC 62271-200, y diseñadas para operar en ambientes urbanos con condiciones ambientales adversas. Se cuidó que contaran con enclavamientos mecánicos y eléctricos, indicadores de presencia de tensión, y cámaras de extinción de arco de alta confiabilidad.

Desde el punto de vista de la seguridad, trabajar en media tensión implica adoptar mayores distancias mínimas de seguridad, aislamiento reforzado, sistemas de puesta a tierra de alta confiabilidad, y señalización clara para el personal autorizado. Estos criterios fueron estrictamente observados en el diseño del cuarto eléctrico, que fue ubicado en un espacio exclusivo en la planta baja del edificio, aislado del tránsito de personas no técnicas y ventilado de manera adecuada.

Un aspecto clave asociado al nivel de tensión es la necesidad de contar con protección contra sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones, tanto en el lado de media como de baja tensión. En el sistema diseñado, se incorporaron fusibles limitadores en las celdas, protecciones termomagnéticas en tableros generales y dispositivos de protección contra transitorios (SPD), para proteger la instalación frente a descargas atmosféricas o eventos de conmutación de red.

En términos normativos, todas estas decisiones se articularon bajo un criterio de coherencia normativa y técnica, cumpliendo simultáneamente con el RETIE, la NTC 2050, y las normas técnicas internacionales más exigentes, como las IEC 60076, IEC 62271 y IEEE Std 80. Esta armonización no fue decorativa: permitió garantizar que el sistema eléctrico no solo respondiera a la carga prevista, sino que lo hiciera con el más alto nivel de seguridad y confiabilidad posible.

El nivel de tensión también influye directamente en la regulación del sistema, es decir, en la capacidad del mismo para mantener una tensión estable en los puntos de consumo, a pesar de las fluctuaciones de carga o las pérdidas en los conductores. En este proyecto, se calcularon cuidadosamente las caídas de tensión desde el transformador hasta los

tableros finales, asegurando que no se superaran los límites del 3 % establecidos por la NTC 2050, incluso en condiciones de carga máxima.

Además, se estimó el comportamiento del sistema ante variaciones del voltaje de entrada, evaluando su capacidad de respuesta sin comprometer el funcionamiento de los equipos. Esta verificación es clave en sistemas institucionales que dependen de computadores, servidores, sistemas de comunicación o climatización, como es el caso de la sede ICETEX.

En conclusión, la definición del nivel de tensión del sistema eléctrico del edificio ICETEX Buenaventura no fue una simple elección técnica. Fue una decisión estratégica, normativamente fundamentada, orientada a garantizar seguridad, eficiencia, y continuidad del servicio. Se diseñó una arquitectura eléctrica capaz de responder a las necesidades actuales y futuras de la institución, que se integra con los requerimientos del operador local y que cumple con estándares de clase mundial.

La media tensión, en este caso, no es solo un dato eléctrico. Es la plataforma sobre la cual se construyó la confiabilidad de una sede pública que tiene el encargo de sostener el derecho a la educación, incluso en medio de un entorno climático y social desafiante.

Cálculo del transformador y sistema de puesta a tierra

El corazón de cualquier sistema eléctrico en media tensión es el transformador. De su correcta selección depende, en buena medida, la eficiencia, estabilidad y seguridad del suministro de energía. Pero junto al transformador, se encuentra otro componente igualmente decisivo: el sistema de puesta a tierra. Ambos funcionan como una dupla inseparable, cuya articulación garantiza que la energía fluya con estabilidad y que, en caso de falla, la infraestructura y las personas estén protegidas frente a los riesgos eléctricos más severos.

En el caso del edificio ICETEX en Buenaventura, la selección del transformador fue una decisión cuidadosamente calculada. No se trataba únicamente de atender la carga instalada, sino de prever un crecimiento razonable, asegurar una regulación adecuada del voltaje, y minimizar las pérdidas eléctricas. A partir del análisis de carga descrito en capítulos anteriores, se proyectó una demanda máxima de 225 kilovoltamperios (kVA), considerando iluminación, tomas, sistemas de climatización, ascensor, equipos de comunicación y reserva para expansión futura.

Con base en esta demanda, se seleccionó un transformador seco tipo pedestal de 225 kVA, con una relación de transformación de 13.200 V / 220-127 V, sistema de aislamiento clase F, y diseño para instalación en ambiente interior. La decisión de optar por un transformador seco respondió a varios factores: las condiciones ambientales de alta humedad y salinidad de Buenaventura, el interés por minimizar riesgos de incendio o derrame de líquidos, y el cumplimiento con las exigencias del RETIE y la norma IEC 60076-11, que regula específicamente los transformadores de tipo seco.

El transformador fue equipado con protección térmica, sistema de ventilación natural (AN) y dispositivos de monitoreo de temperatura. Se verificó su impedancia de cortocircuito, que se reportó en 6 %, y se utilizó este dato para calcular la corriente de cortocircuito en el secundario, lo que permitió seleccionar los dispositivos de protección adecuados en los tableros generales.

Una vez definido el transformador, se abordó el diseño del sistema de puesta a tierra, cuya función principal es disipar a tierra las corrientes de falla, garantizar la operación de las protecciones y evitar diferencias de potencial peligrosas entre equipos metálicos o entre estos y el suelo. Dado que el sistema eléctrico está

conectado a tierra a través del neutro del transformador, y que la edificación opera en un entorno tropical húmedo, el sistema de puesta a tierra debía ser especialmente robusto, confiable y duradero.

Para su diseño se aplicaron los lineamientos del RETIE, de la NTC 2050 y de la IEEE Std 80-2000. Se proyectó una malla de puesta a tierra interconectada, compuesta por conductores de cobre desnudo enterrados a 60 cm de profundidad, con geometría rectangular cerrada, conectados mediante soldadura exotérmica para garantizar continuidad eléctrica y resistencia mecánica.

Los electrodos fueron distribuidos estratégicamente alrededor del perímetro del cuarto eléctrico y en las bases metálicas de los pararrayos. Todos los tableros, canalizaciones, bandejas portacables y carcasas metálicas de equipos fueron conectados a esta malla, asegurando una equipotencialización completa del sistema. Esta condición es vital para evitar tensiones de paso y contacto peligrosas durante una falla a tierra o una descarga atmosférica.

Se realizó el cálculo de la resistencia de puesta a tierra, proyectando un valor máximo inferior a 10 ohmios, de acuerdo con lo exigido por el operador de red para instalaciones en media tensión. Sin embargo, en las condiciones particulares del suelo de Buenaventura —con

alta humedad natural y conductividad favorable— se estimó un valor incluso menor, optimizando así la eficiencia del sistema sin necesidad de recurrir a sustancias químicas estabilizantes.

Además, se verificaron los valores máximos admisibles de tensión de paso y contacto, considerando la resistividad del suelo, la corriente de falla esperada y la duración del evento. Los resultados obtenidos permitieron asegurar que, en caso de falla, las tensiones inducidas no superarían los límites considerados seguros por el RETIE: 25 voltios en ambientes húmedos para tensión de contacto, y 50 voltios para tensión de paso.

El sistema de puesta a tierra fue diseñado también para integrarse funcionalmente al sistema de protección contra rayos, de manera que la energía de una descarga atmosférica captada por el pararrayos fuera conducida de forma segura al suelo, sin generar arcos internos ni deterioro de los aislamientos.

En suma, la elección del transformador y el diseño del sistema de puesta a tierra en el edificio ICETEX Buenaventura no obedecieron a soluciones prefabricadas. Se trató de un ejercicio de lectura del territorio, de cumplimiento normativo riguroso y de diseño técnico sensible al contexto. Estos componentes, más allá de su función eléctrica, operan como

garantes de la continuidad del servicio, de la seguridad institucional y de la integridad física de las personas que confían a diario en el buen funcionamiento de esta infraestructura pública.

Campos electromagnéticos – análisis y justificación

Los campos electromagnéticos (CEM) son una consecuencia inevitable de toda instalación eléctrica en operación. Se generan en los alrededores de conductores energizados, transformadores, tableros, equipos electrónicos y, en general, cualquier sistema que transporte corriente alterna. Aunque en la mayoría de los casos estos campos son de baja intensidad y no representan un riesgo inmediato, su presencia debe ser identificada, evaluada y gestionada, especialmente en edificaciones de uso institucional y atención al público.

El edificio ICETEX de Buenaventura no es la excepción. Al tratarse de una edificación con infraestructura eléctrica en media tensión, transformador propio, sistemas trifásicos de distribución, aire acondicionado, ascensor y múltiples tableros electrónicos, la generación de CEM era una condición esperada desde el diseño. La pregunta no era si habría campos electromagnéticos, sino en qué magnitud, en qué lugares y con qué posibles implicaciones para la

salud, la operación de los equipos y la normativa vigente.

En Colombia, el marco normativo sobre exposición a CEM está dado por los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP). Estas instituciones han establecido límites de exposición para campos eléctricos y magnéticos en ambientes laborales y públicos. Para el caso de frecuencias de 50/60 Hz —propias de los sistemas eléctricos convencionales— los valores máximos recomendados son:

- Campo eléctrico: 5 kV/m (kilovoltios por metro)
- Campo magnético: 100 μ T (microteslas) para exposición ocupacional continua, y 200 μ T para exposición breve o intermitente

Durante el diseño del edificio ICETEX, se incorporó un análisis predictivo de CEM en áreas sensibles, como oficinas cerradas, salas de cómputo, zonas de espera y espacios próximos al transformador. Para ello, se utilizó un modelo de estimación basado en la geometría del sistema, la disposición de los tableros, la magnitud de la corriente y la distancia de los ocupantes respecto a los elementos emisores.

En el caso del transformador seco, el mayor emisor potencial del sistema, se verificó que su cámara estuviera confinada, ventilada y separada por muro estructural de los espacios administrativos. Esta barrera física, junto con la disposición centrada de las bobinas y la distancia al usuario, permitió mantener el campo magnético estimado por debajo de los $0,5 \mu\text{T}$ en áreas adyacentes, un valor muy inferior al umbral de precaución establecido por el ICNIRP.

En los tableros eléctricos, los campos generados se mantuvieron en el rango de los $0,1$ a $0,2 \mu\text{T}$, concentrados a menos de $0,5$ metros del punto de emisión. Dado que estos tableros están ubicados en cuartos técnicos cerrados, sin permanencia prolongada de personas, y señalizados con acceso restringido, su impacto sobre la salud ocupacional es nulo.

Un criterio fundamental fue evitar la proximidad de cableado de alta corriente a zonas de permanencia humana prolongada. Para ello, se diseñaron rutas de canalización periféricas, se evitaron trazados de alimentadores principales por cielorrasos de oficinas, y se organizó el cableado por bandejas metálicas apantalladas cuando fue necesario atravesar espacios de uso frecuente.

En cuanto a los equipos electrónicos, se adoptaron medidas de compatibilidad electromagnética (EMC), especialmente para

sistemas de comunicación, servidores y redes de datos. Se garantizó la separación mínima entre líneas de potencia y líneas de señal, y se aplicaron filtros electromagnéticos en los puntos de conexión más críticos, evitando interferencias que pudieran degradar la calidad de la información o generar fallas intermitentes difíciles de rastrear.

En la fase constructiva se recomendó realizar mediciones reales de CEM con instrumentos tipo gaussímetro, una vez puesto en operación el sistema, especialmente en zonas como el cuarto eléctrico, la sala de servidores y las oficinas colindantes al transformador. Estas mediciones, si bien no fueron parte del documento base, se incluyen como parte del plan de mantenimiento preventivo, con periodicidad anual o cada vez que se realicen ampliaciones de carga.

Cabe resaltar que, hasta la fecha, no existe evidencia científica concluyente que demuestre efectos adversos significativos sobre la salud en exposiciones a campos eléctricos o magnéticos por debajo de los límites establecidos por la ICNIRP. Sin embargo, el principio de precaución sigue vigente, y se traduce en decisiones de diseño que minimicen la exposición innecesaria, favorezcan la ventilación y mantengan la infraestructura alejada de zonas sensibles.

En síntesis, el análisis de campos electromagnéticos en el edificio ICETEX

Buenaventura no solo cumple con la normativa vigente, sino que va más allá: incorpora criterios de salud ambiental, precaución técnica y gestión institucional del riesgo invisible. Porque en la ingeniería responsable, incluso lo que no se ve debe ser previsto, calculado y, sobre todo, cuidado.

Coordinación de protecciones y canalizaciones

La protección eléctrica no se basa únicamente en la existencia de dispositivos de corte. Requiere un diseño integral en el que cada componente del sistema—conductores, canalizaciones, interruptores y protecciones diferenciales—actúe de forma armonizada ante condiciones de falla o sobrecarga. Esta articulación planificada es lo que se conoce como coordinación de protecciones, y constituye uno de los pilares de la seguridad eléctrica.

En el edificio ICETEX de Buenaventura, esta coordinación fue concebida desde el inicio como una estrategia técnica de prevención. Su implementación garantizó que, ante una contingencia, el sistema actuara con rapidez, selectividad y precisión, sin comprometer la integridad de otras áreas de la instalación.

Para lograrlo, se aplicaron criterios establecidos en el RETIE, la NTC 2050 y las

normas IEC 60947-2 e IEC 61439-1, asegurando que los interruptores operaran dentro de sus capacidades de ruptura, que existiera selectividad entre protecciones principales y secundarias, y que los dispositivos respondieran en los tiempos adecuados para minimizar el daño térmico o mecánico a los componentes del sistema.

Se adoptó una estructura jerárquica de protección:

- En el tablero general, se instaló un interruptor de caja moldeada (MCCB) con curva de disparo ajustable, capaz de cubrir la corriente de cortocircuito máxima estimada del sistema, cercana a los 5.000 A.
- En los tableros secundarios, se utilizaron interruptores termomagnéticos tipo C y D, dimensionados según la carga de cada circuito, con curvas de disparo coordinadas para actuar en cascada.
- En las salidas hacia áreas con permanencia humana o equipos sensibles, se incorporaron protecciones diferenciales (RCD) con sensibilidad de 30 mA, reduciendo el riesgo de electrocución por contacto indirecto o fuga de corriente.

Esta configuración fue verificada mediante diagramas de coordinación y curvas de disparo superpuestas, garantizando la selectividad vertical: es decir, que en caso de falla, el dispositivo más cercano al punto de falla actúe primero, evitando que la protección principal desconecte toda la instalación.

La coordinación de protecciones fue diseñada en paralelo con el sistema de canalizaciones eléctricas, que constituye la red física por donde viaja la energía. La elección del tipo de canalización —tubería EMT, PVC pesado o bandeja metálica— se basó en el tipo de carga, la ubicación del circuito (interior o exterior) y la exposición ambiental.

Todas las canalizaciones fueron dimensionadas para mantener un porcentaje de ocupación inferior al 50 %, conforme a lo establecido en la NTC 2050, Artículo 362-30, lo cual permite disipación térmica adecuada y espacio suficiente para futuros circuitos. Las curvas de canalización fueron diseñadas con radios mínimos adecuados y sin empalmes intermedios que pudieran acumular calor o generar puntos de falla.

Los conductores instalados en cada canalización fueron calculados según su corriente nominal, longitud y agrupamiento, para evitar caídas de tensión excesivas y sobrecarga térmica. El diseño contempló

además el uso de terminales prensados y aislados, reduciendo la posibilidad de falsos contactos o conexiones flojas que generen arcos eléctricos.

Un elemento clave fue la implementación de un sistema de apantallamiento pasivo, en el que se usaron bandejas metálicas conectadas a tierra para reducir interferencias electromagnéticas, especialmente en zonas donde coexisten líneas de potencia y señal. Esta práctica, más común en entornos industriales, fue aplicada aquí como medida preventiva ante posibles interferencias en sistemas de datos o comunicación.

La puesta a tierra de las canalizaciones metálicas fue otra prioridad del diseño. Todos los tramos de ductos y bandejas fueron conectados a la malla de tierra mediante puentes equipotenciales, garantizando que, en caso de falla de aislamiento, la corriente de falla tenga una vía de escape segura hacia el suelo, y que el sistema de protección actúe sin demoras.

La coordinación entre protecciones y canalizaciones no se limita al diseño inicial. También exige condiciones que favorezcan el mantenimiento predictivo y correctivo. Por ello, el sistema fue diseñado con cajas de inspección en puntos estratégicos, canalizaciones accesibles en ductos técnicos, y ruteo organizado con identificación visual de cada circuito. Estas decisiones no solo reducen los

tiempos de intervención en caso de falla, sino que fortalecen la seguridad de los operarios.

En términos generales, el sistema de protección y canalización eléctrica del edificio ICETEX Buenaventura representa un modelo de ingeniería articulada. Cada decisión de calibre, tipo de tubo, curva de disparo o punto de inspección responde a una lógica compartida: proteger vidas, equipos y servicios esenciales en un entorno que exige soluciones confiables y adaptadas a su realidad ambiental.

Pérdidas de energía, regulación y eficiencia del sistema

Toda instalación eléctrica conlleva inevitablemente una serie de pérdidas de energía. Aunque estas pérdidas forman parte inherente del funcionamiento de los sistemas eléctricos, su magnitud puede ser significativamente reducida mediante decisiones de diseño, selección adecuada de materiales y tecnologías, y criterios de operación eficientes. En el edificio ICETEX de Buenaventura, uno de los principios orientadores del sistema eléctrico fue precisamente ese: garantizar la eficiencia energética mediante el control riguroso de las pérdidas técnicas, la regulación estable del sistema y la previsión para el monitoreo futuro del consumo.

Las pérdidas técnicas más relevantes en esta instalación se originan en la transformación, la conducción y la distribución de la energía. El transformador seco de 225 kVA instalado en el edificio, conforme a la norma IEC 60076-11, presenta pérdidas en vacío y en carga. Las primeras ocurren aún cuando no hay consumo en el edificio, mientras que las segundas dependen directamente de la carga conectada. Las memorias de cálculo evidencian un rendimiento superior al 97 %, un indicador destacable considerando las condiciones ambientales de humedad y temperatura típicas del litoral pacífico colombiano. Esta eficiencia transforma al transformador no solo en un elemento funcional, sino en un componente comprometido con la sostenibilidad institucional.

En cuanto al sistema de distribución, se seleccionaron conductores de cobre tipo THHN/THWN-2, con recubrimiento resistente a la humedad y al calor. Los cálculos de sección transversal consideraron la intensidad de corriente, la longitud del recorrido y la agrupación de cables, garantizando una caída de tensión inferior al 3 % en todos los circuitos terminales. Esta medida permitió reducir de manera significativa las pérdidas por efecto Joule, asegurando que la energía que sale del transformador llegue con mínima merma a los puntos de consumo.

El diseño también fue cuidadoso al evitar el sobrecalentamiento por agrupación excesiva de conductores o trayectorias de canalización inadecuadas. Las bandejas metálicas, las tuberías de PVC y EMT se distribuyeron estratégicamente para favorecer la disipación térmica, mantener la accesibilidad para el mantenimiento y garantizar la durabilidad del sistema frente al entorno costero. Asimismo, todas las canalizaciones cumplen con la ocupación máxima permitida por la NTC 2050, lo que garantiza un margen adecuado de seguridad eléctrica.

La calidad del suministro también se convirtió en una dimensión crítica del diseño. Un sistema eficiente no es únicamente aquel que reduce pérdidas energéticas, sino aquel que mantiene estable su tensión, balancea adecuadamente sus fases y responde con rapidez ante variaciones transitorias. El balance de carga trifásico fue gestionado desde el diseño de los tableros, logrando diferencias de corriente inferiores al 10 % entre fases. Esto no solo mejora el rendimiento general del sistema, sino que reduce el esfuerzo térmico sobre el conductor de neutro y minimiza las distorsiones armónicas que pueden afectar la operación de equipos electrónicos sensibles.

Además, se previeron medidas de compatibilidad electromagnética, separación de

circuitos de señal y de potencia, y filtros pasivos en zonas con alta densidad de equipos no lineales. Estas decisiones técnicas se tradujeron en una mejor calidad de energía, una menor tasa de fallas y una disminución en los requerimientos de mantenimiento correctivo.

Las protecciones instaladas no solo cumplen su rol de seguridad, sino que también aportan a la eficiencia operativa. Los dispositivos de protección contra sobretensiones, ubicados en tableros principales y secundarios, evitan daños por descargas atmosféricas y prolongan la vida útil de los equipos. Las protecciones termomagnéticas, por su parte, fueron calibradas con precisión, evitando el disparo intempestivo y la desconexión innecesaria de cargas, lo que redundo en una mayor estabilidad del sistema.

Otro aspecto clave del diseño fue la previsión de una infraestructura adaptable a tecnologías de monitoreo y control energético. Los tableros están preparados para incorporar medidores digitales, analizadores de redes y sensores que, en un futuro, permitirán implementar un sistema de gestión energética centralizado. Esta capacidad no solo facilitará el seguimiento del consumo eléctrico por áreas, sino que permitirá detectar fugas, pérdidas anómalas y consumos excesivos, optimizando así la operación

institucional y reduciendo el gasto público en energía.

La eficiencia, en este caso, no se limita a lo técnico. Representa también un compromiso ético: diseñar una edificación pública que consuma solo lo necesario, que cuide los recursos que le han sido asignados, y que pueda sostenerse en el tiempo sin exigir más de lo que requiere para funcionar. En un entorno como Buenaventura, donde los retos económicos, sociales y climáticos son constantes, la eficiencia energética es también una forma de justicia: una manera de asegurar que cada peso invertido en infraestructura sirva al máximo a las personas y comunidades que se benefician de ella.

Diagramas y planos eléctricos – representación gráfica del sistema

Todo sistema eléctrico, por complejo que sea, necesita ser comprendido, comunicado y conservado en el tiempo. La herramienta que hace esto posible es el plano eléctrico: una representación gráfica que convierte la abstracción técnica en una narrativa visual precisa, legible y operativa. No se trata de un anexo decorativo ni de un simple requisito documental; se trata de una parte esencial del sistema mismo, un puente entre quienes lo diseñan, lo ejecutan, lo mantienen y lo habitan.

En el caso del edificio ICETEX de Buenaventura, los diagramas y planos eléctricos cumplen con esta función estructural. Fueron concebidos desde el principio como parte integral del diseño, no como una formalidad posterior. Su elaboración respondió a criterios normativos —basados en la NTC 1329, la NTC 2050 y el RETIE—, pero también a una apuesta institucional por la trazabilidad, la claridad y la transparencia en la gestión del sistema.

El punto de partida fue el diagrama unifilar general, una herramienta indispensable que resume la totalidad del sistema eléctrico en un solo plano. Allí se muestra cómo se conecta el transformador al tablero general, cómo se distribuyen las fases hacia los tableros secundarios y cómo estos alimentan los distintos circuitos terminales. Esta representación, aunque esquemática, permite visualizar la lógica del sistema, identificar puntos críticos, anticipar ampliaciones y detectar errores estructurales antes de su ejecución.

A partir del unifilar se desarrollaron los planos arquitectónicos de distribución eléctrica por piso, en los que se detallan las rutas de las canalizaciones, la ubicación de tomas, luminarias, interruptores, salidas para equipos especiales y puntos de red. Estos planos fueron adaptados a la geometría específica de cada

nivel del edificio, respetando los criterios de accesibilidad, uso del espacio, y compatibilidad con otros sistemas constructivos como redes hidráulicas, ductos de aire y sistemas de seguridad. La disposición gráfica de estos elementos permite a los técnicos realizar instalaciones precisas, a los interventores verificar cumplimiento, y a los usuarios identificar fácilmente puntos de consumo o fallos.

Otro conjunto fundamental de planos corresponde a los esquemas de tableros eléctricos. Cada tablero del edificio —general o secundario— cuenta con su propio esquema interno, donde se especifican las barras de fase, neutro y tierra, la disposición de los interruptores, la codificación de cada circuito, su carga estimada y el tipo de protección instalada. Esta información no solo permite una instalación ordenada, sino que resulta vital para el mantenimiento, ya que facilita la identificación rápida de fallas, la desconexión segura de circuitos, y la incorporación de nuevos alimentadores sin comprometer la integridad del sistema.

En adición, se elaboraron planos de canalizaciones técnicas, que detallan las rutas de las bandejas, ductos, cajas de inspección y puntos de acceso. Estos planos muestran con precisión cómo se interconectan los distintos

elementos del sistema eléctrico, cómo se organizan las canalizaciones por tipo de carga, y cómo se previenen interferencias con sistemas paralelos. Este tipo de representación es crucial durante la fase constructiva, pero también en el ciclo de vida posterior de la edificación, ya que permite planear mantenimientos preventivos, inspecciones periódicas o incluso ampliaciones de carga sin improvisaciones.

Un aspecto distintivo de este proyecto fue la entrega de todos los planos en formato digital editable (DWG), junto con copias impresas organizadas en un dossier técnico. Esto no solo cumple con las exigencias del RETIE respecto a documentación técnica, sino que habilita a la institución para mantener actualizados sus registros, incorporar modificaciones a medida que se hagan ajustes en el sistema, y tener un respaldo confiable en caso de contingencias.

Más allá de su utilidad técnica, los planos eléctricos del edificio ICETEX representan también un compromiso ético: el de dejar una memoria técnica clara, accesible y pedagógica. En muchas obras públicas, los planos desaparecen con el tiempo, quedan desactualizados o no reflejan la realidad construida. Aquí, en cambio, se asegura que la infraestructura pueda ser comprendida no solo por quienes la diseñaron, sino por quienes deberán operarla y cuidarla en el futuro. En

contextos institucionales como el de Buenaventura, donde la continuidad administrativa no siempre está garantizada, esta trazabilidad documental es una forma concreta de proteger la inversión pública.

Finalmente, cabe destacar que esta documentación gráfica no se limita a cumplir un papel técnico. También tiene un valor simbólico. Representa la forma en que la ingeniería comunica, enseña y transmite conocimiento. Un plano claro es un gesto de responsabilidad profesional, una garantía de que lo que se construyó puede ser replicado, corregido, mejorado o ampliado por otros. En ese sentido, los diagramas y planos eléctricos de esta obra no son un simple cierre del proyecto: son su mapa, su memoria y su promesa de continuidad.

Parte III: Reflexiones técnicas y recomendaciones

Lecciones aprendidas del caso ICETEX Buenaventura

El desarrollo del sistema eléctrico del edificio ICETEX en Buenaventura no fue un ejercicio aislado de aplicación normativa. Fue, ante todo, una oportunidad para pensar en cómo se conciben, diseñan y ejecutan infraestructuras públicas en territorios periféricos de alta complejidad. Cada plano, cada cable, cada protección instalada fue también una decisión ética, técnica y territorial. Por ello, este capítulo no pretende solo resumir el proyecto, sino extraer de él una serie de lecciones que trascienden lo ingenieril y que pueden nutrir futuras intervenciones institucionales en Colombia y América Latina.

Una primera lección tiene que ver con el diseño técnico como acto anticipatorio. Lejos de la improvisación o el enfoque correctivo que muchas veces acompaña a las obras públicas, este proyecto se basó en la premisa de anticipar el funcionamiento, los riesgos y los usos futuros

del sistema eléctrico. Esto implicó realizar un diseño que no solo cumpliera con el RETIE y la NTC 2050, sino que integrara criterios de adaptabilidad, crecimiento, eficiencia energética y seguridad humana. En palabras del World Bank (2019), el diseño de infraestructura debe pensarse no solo como un acto de ejecución, sino como un proceso de planificación socialmente informado, orientado al largo plazo y al fortalecimiento de capacidades locales.

En segundo lugar, el caso ICETEX Buenaventura enseñó que la ingeniería debe dialogar con el territorio. No basta con aplicar fórmulas estandarizadas; es necesario comprender la humedad, el régimen de lluvias, la salinidad del aire, la densidad de rayos y la naturaleza del suelo para diseñar una instalación que no falle prematuramente. En este sentido, el uso de transformadores secos, canalizaciones selladas, protecciones diferenciales sensibles y mallas de puesta a tierra robustas, fue una respuesta técnica situada. García y Zapata (2018), al analizar instalaciones eléctricas en climas extremos, advierten que ignorar las condiciones locales genera sobre costos, fallas recurrentes y desconfianza institucional. Este proyecto asumió la responsabilidad de hacer ingeniería situada, desde el Pacífico colombiano y para el Pacífico colombiano.

Una tercera lección tiene que ver con la articulación temprana entre arquitectura e ingeniería eléctrica. Tradicionalmente, los diseños eléctricos se han tratado como anexos subordinados al proyecto arquitectónico. Sin embargo, este caso demostró que cuando se integra desde el inicio, el diseño eléctrico puede potenciar la funcionalidad del edificio, optimizar el uso de espacios técnicos, mejorar la eficiencia de los recorridos de canalización y reducir interferencias con otros sistemas. Según la CEPAL (2016), una de las principales fallas en la infraestructura pública en América Latina es la fragmentación disciplinar que impide sinergias entre diseño, construcción y mantenimiento. El proyecto ICETEX Buenaventura muestra que esa sinergia es no solo posible, sino altamente beneficiosa.

Otra lección relevante fue el valor estratégico de documentar rigurosamente la instalación. No se trató solo de cumplir con el requisito de planos y memorias. Se construyó un sistema documental integrado, con planos digitales editables, esquemas de tableros, diagramas unifilares, manuales de mantenimiento y fichas técnicas. Esta documentación es, como plantea Turrin et al. (2019), una herramienta de sostenibilidad técnica que permite actualizar, reparar o ampliar el sistema sin pérdida de información clave, incluso en contextos de alta rotación institucional.

El proyecto también permitió confirmar que la infraestructura pública puede y debe ser eficiente energéticamente. Desde la selección de transformadores hasta el balance de carga, pasando por la incorporación de protecciones contra armónicos y la preparación para sistemas de gestión energética, todo el sistema fue concebido para reducir pérdidas, optimizar recursos y garantizar un funcionamiento sostenible. Esto responde no solo a criterios técnicos, sino a una responsabilidad con el uso del erario. La Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Minas y Energía establece que las edificaciones públicas deben incorporar principios de eficiencia energética, pero en muchos casos esto se reduce a un criterio de papel. Aquí, se hizo realidad desde el diseño.

Finalmente, el proyecto permitió visibilizar un principio muchas veces ignorado: la infraestructura pública es también una herramienta pedagógica. Su calidad comunica valores. Un edificio bien iluminado, con energía estable, sin interrupciones ni riesgos, habla de un Estado presente, serio y respetuoso. Pero además, deja capacidades instaladas: forma técnicos, genera confianza institucional y permite que la ciudadanía relacione lo público con lo eficiente. Como sostiene Escobar (2016), todo diseño, incluso el más técnico, implica una política de lo sensible, de lo que se quiere preservar y de cómo se habita un territorio.

En síntesis, el caso ICETEX Buenaventura no solo entregó una solución eléctrica funcional. Dejó un conjunto de aprendizajes sobre cómo hacer infraestructura pública con sentido territorial, responsabilidad normativa, coherencia técnica y vocación pedagógica. En contextos como el colombiano, donde la ingeniería enfrenta desafíos de desigualdad, desfinanciamiento y fragmentación, proyectos como este son también faros: señales de que es posible diseñar con calidad, construir con dignidad y operar con inteligencia. No hay soluciones mágicas. Pero sí hay caminos posibles. Este libro recoge uno de ellos.

Estándares mínimos para diseños eléctricos en edificaciones institucionales

Proponer estándares mínimos para el diseño eléctrico en edificaciones institucionales no es solo un ejercicio normativo: es una afirmación política y técnica sobre lo que el Estado debe garantizar como piso básico de seguridad, eficiencia y sostenibilidad en los espacios que ofrece a la ciudadanía. La electricidad, como infraestructura invisible pero esencial, define en gran medida la funcionalidad, la habitabilidad y la calidad de un edificio público. Por ello, este capítulo propone un conjunto articulado de criterios mínimos que, más allá de la norma

escrita, surgen de la práctica, del análisis territorial y de las lecciones acumuladas en proyectos como el del edificio ICETEX en Buenaventura.

Integración del diseño eléctrico desde la etapa arquitectónica

Todo diseño eléctrico debe ser concebido de forma sincrónica con el diseño arquitectónico. Esto implica que las rutas de canalización, las cargas previstas, los espacios técnicos, los accesos para mantenimiento y las proyecciones de crecimiento deben estar definidas desde las primeras versiones del anteproyecto. Una infraestructura institucional que reserva espacios para las personas, pero no para los sistemas que la energizan, está condenada a la improvisación, a la obsolescencia temprana y a los riesgos evitables. Tal como lo señala la CEPAL (2016), la integración disciplinar en las etapas tempranas del diseño es una de las condiciones más efectivas para reducir sobre costos, fallas y conflictos de obra.

Elección adecuada del nivel de tensión

Las edificaciones institucionales que superen los 100 kVA de demanda deben operar en media tensión, de acuerdo con los lineamientos del RETIE. Esta decisión no puede quedar a criterio

del contratista, sino que debe ser exigida por la entidad diseñadora y coordinada con el operador de red local. El sistema de media tensión debe incorporar celdas de protección modulares, transformadores con características térmicas y dieléctricas adecuadas al entorno, y debe garantizar un nivel de regulación que permita alimentar cargas sensibles sin distorsión.

Uso de transformadores secos y sistemas de ventilación adecuados

En climas húmedos o con alta salinidad ambiental, el uso de transformadores secos es una condición mínima para garantizar durabilidad y seguridad. Además, se debe prever una ventilación cruzada o forzada en el cuarto eléctrico, con sensores térmicos y monitoreo constante de la temperatura. El cumplimiento con la norma IEC 60076-11 debe ser verificable mediante fichas técnicas certificadas y ensayos de fábrica.

Tableros por piso, con identificación y reserva

Toda edificación institucional de más de dos niveles debe contar con tableros eléctricos por piso, organizados por tipo de carga (iluminación, tomas, fuerza, especiales) y con un mínimo del 25 % de capacidad de reserva

instalada. Esta reserva debe contemplar tanto espacio físico como capacidad de barras y protecciones. Cada tablero debe estar debidamente rotulado, contener esquemas unifilares visibles y mantener coherencia con los planos entregados en fase de diseño.

Balance de carga trifásico y corrección del factor de potencia

El diseño debe garantizar un balance de carga entre fases con un desbalance inferior al 10 %. Esta condición no solo mejora la eficiencia del sistema, sino que reduce la sobrecarga del conductor de neutro y prolonga la vida útil de los equipos. En edificaciones con alta densidad de cargas no lineales, se deben prever filtros de armónicos o bancos de capacitores que aseguren un factor de potencia cercano a 0,95, evitando penalizaciones y pérdidas innecesarias.

Protección contra sobretensiones y coordinación de protecciones

Todos los tableros deben incluir protectores contra sobretensiones tipo II o III, dependiendo de su cercanía al punto de entrada. Estos dispositivos deben estar coordinados con las protecciones termomagnéticas y diferenciales del sistema, de forma que garanticen selectividad y rápida desconexión ante fallas.

Las curvas de disparo de los interruptores deben estar justificadas en las memorias de cálculo, y las protecciones diferenciales deben ser obligatorias en zonas húmedas, de atención al público y con presencia de equipos sensibles.

Sistema de puesta a tierra integral y equipotencialización

Todo sistema debe contar con una malla de puesta a tierra dimensionada con base en medición de resistividad del suelo y simulación de corrientes de falla. La resistencia final no debe superar los 10 ohmios, y todos los elementos metálicos expuestos (canalizaciones, bandejas, gabinetes, estructuras) deben estar equipotencializados. La puesta a tierra debe integrarse también al sistema de protección contra rayos, especialmente en zonas de alta densidad de descargas, como el litoral pacífico.

Documentación técnica completa y entregable

Los diseños deben incluir memorias de cálculo, planos unifilares, esquemas de tableros, planos de distribución, manuales de operación, fichas técnicas de equipos y cronogramas de mantenimiento preventivo. Esta documentación debe entregarse en formato impreso y digital editable, y debe formar parte del archivo técnico

de la institución, con actualizaciones posteriores en caso de ampliaciones o modificaciones.

Consideraciones de eficiencia energética

Toda edificación pública debe estar preparada para implementar sistemas de gestión energética. Esto implica dejar previstos puertos de comunicación en los tableros, espacios para medidores inteligentes, sensores de corriente, voltaje y consumo, y un protocolo para la interpretación de datos energéticos. Estas medidas, recomendadas por la Resolución 0549 de 2015, deben ser más que una aspiración normativa: deben traducirse en prácticas de diseño que habiliten el seguimiento del uso de la energía en tiempo real.

Adaptabilidad, mantenimiento y participación local

Finalmente, ningún sistema eléctrico es estático. Por eso, los estándares mínimos deben incluir criterios de accesibilidad para mantenimiento, disponibilidad de repuestos en el mercado nacional, capacitación a técnicos locales y participación de operarios institucionales en la socialización del sistema. En palabras de Escobar (2016), el diseño técnico debe ser también un ejercicio de co-creación territorial: una infraestructura no se impone, se

construye en diálogo con quienes la usarán y mantendrán.

Desafíos para el diseño eléctrico en regiones costeras

Diseñar sistemas eléctricos en regiones costeras supone enfrentarse a una serie de condiciones técnicas, ambientales y sociales que desafían los esquemas convencionales. Climas húmedos, alta salinidad, lluvias intensas, suelos poco resistentes, inestabilidad institucional y déficit de mantenimiento son parte de un escenario que obliga a la ingeniería a pensar con otros códigos, con otras previsiones y, sobre todo, con otra sensibilidad.

El caso del edificio ICETEX en Buenaventura sirvió como laboratorio práctico para identificar y enfrentar muchos de estos desafíos. Pero no es un caso aislado: lo que ocurre allí es representativo de cientos de edificaciones públicas en ciudades costeras de Colombia y América Latina. A partir de esta experiencia, es posible sistematizar al menos cinco grandes desafíos que deben ser reconocidos y enfrentados con claridad y rigor técnico.

Condiciones climáticas agresivas: humedad, salinidad y temperatura

El ambiente costero combina factores que aceleran el deterioro de componentes eléctricos:

una humedad relativa cercana al 100 %, aerosoles marinos que depositan sal sobre superficies metálicas, y temperaturas elevadas que aumentan la resistencia de los materiales. Esta tríada ambiental exige una selección cuidadosa de materiales, protecciones y recubrimientos. Los cables deben tener aislamiento resistente a la humedad (THWN-2 o equivalentes), las canalizaciones deben ser selladas herméticamente, y los gabinetes eléctricos deben contar con grados de protección IP superiores a 44.

Los transformadores en estas regiones deben ser secos, encapsulados, ventilados adecuadamente y monitoreados térmicamente. Como sugieren García y Zapata (2018), la durabilidad de una instalación en clima costero no depende solo de la calidad de los equipos, sino de su integración con el ambiente: la distancia del suelo, la orientación respecto a vientos salinos, la frecuencia de mantenimiento, y la capacidad del sistema para autorregularse térmicamente.

Suelos de alta resistividad y desafíos en la puesta a tierra

Una característica común en regiones costeras es la alta resistividad de sus suelos, especialmente en zonas urbanizadas con rellenos artificiales o mezclas de arena y

escombros. Esto dificulta la instalación de sistemas de puesta a tierra efectivos, los cuales son fundamentales para garantizar la seguridad frente a descargas, fugas y sobretensiones.

La solución no puede ser genérica. Es indispensable realizar mediciones de resistividad específicas, aplicar el método de Wenner o Schlumberger y, a partir de allí, diseñar mallas de tierra adaptadas al suelo local, usando aditivos estabilizantes si es necesario. El RETIE establece un valor máximo de 25 ohmios para edificaciones comunes, pero en entornos costeros, este valor debe ser revisado caso a caso, pues la estabilidad del sistema depende más del diseño integral y la equipotencialidad que de alcanzar un número exacto.

Infraestructura pública expuesta a descargas atmosféricas

La costa pacífica colombiana tiene una de las mayores densidades de descargas atmosféricas del mundo, con hasta 300 días de tormentas al año en algunos puntos. Esto convierte a las edificaciones públicas en estructuras vulnerables, especialmente si cuentan con sistemas de media tensión, antenas, luminarias exteriores o equipos electrónicos sensibles.

Todo diseño eléctrico en regiones costeras debe integrar un sistema de protección contra rayos: pararrayos, bajantes, terminales de

captación, malla de dispersión y dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) coordinados. No hacerlo es ignorar una amenaza constante. Las normas IEC 62305 y el mismo RETIE establecen lineamientos claros al respecto, pero su aplicación es aún baja en proyectos públicos por falta de exigencia institucional.

Escasez de personal capacitado y debilidad en el mantenimiento

Aun cuando el diseño sea técnicamente adecuado, muchas instalaciones eléctricas en regiones costeras colapsan prematuramente por ausencia de mantenimiento preventivo y falta de personal técnico local capacitado. Las instituciones públicas, especialmente en zonas apartadas, dependen de operadores externos, y muchas veces no cuentan con planes de formación o protocolos de gestión energética.

Un diseño que no contemple mantenibilidad, accesibilidad de componentes, trazabilidad documental y manuales operativos claros está condenado a fallar. Tal como plantea Escobar (2016), la sostenibilidad técnica no es solo una cuestión de ingeniería: es un acto político de formación de capacidades, de apropiación territorial del conocimiento.

Tensión entre normatividad nacional y realidad territorial

La NTC 2050 y el RETIE constituyen marcos normativos indispensables para garantizar la seguridad eléctrica. Sin embargo, su aplicación en regiones costeras plantea tensiones prácticas. Por ejemplo, la exigencia de distancias, materiales o estándares técnicos muchas veces no considera la informalidad constructiva, la precariedad presupuestal o las limitaciones logísticas de las entidades locales.

Esto no implica que las normas deban relajarse, sino que deben aplicarse con flexibilidad contextual. Los ingenieros deben ser capaces de justificar técnicamente sus decisiones, adaptar soluciones sin comprometer la seguridad, y dialogar con las entidades contratantes para evitar réplicas ciegas de soluciones urbanas en contextos territoriales muy distintos.

Diseñar sistemas eléctricos en regiones costeras no es simplemente un acto técnico. Es una práctica que exige sensibilidad territorial, diálogo interdisciplinario, ética pública y compromiso con la sostenibilidad operativa. Las condiciones ambientales, sociales e institucionales de estas regiones exigen soluciones pensadas desde el lugar, con criterios

de adaptabilidad, mantenimiento y gestión comunitaria.

El proyecto del edificio ICETEX en Buenaventura no resolvió todos estos desafíos, pero sí los enfrentó con seriedad, rigor y creatividad técnica. Lo que aquí se propone no es un modelo cerrado, sino un horizonte de criterios mínimos para pensar, con más profundidad, lo que significa iluminar lo público desde la costa.

Hacia una infraestructura eléctrica segura, eficiente y normativa

La infraestructura eléctrica no es solo un conjunto de cables, tableros y transformadores: es la columna vertebral invisible que sostiene la operación cotidiana de hospitales, escuelas, oficinas, universidades, centros culturales y demás espacios donde el Estado se encuentra con la ciudadanía. Si falla, todo se detiene. Si está mal diseñada, todo se deteriora. Y si no es comprendida como un bien público estratégico, puede convertirse en una trampa técnica: costosa, ineficiente y peligrosa.

Por eso, hablar de infraestructura eléctrica segura, eficiente y normativa no es una declaración técnica aislada. Es un horizonte civilizatorio. Un imperativo ético. Una tarea concreta del Estado contemporáneo. En ese marco, el proyecto del edificio ICETEX en

Buenaventura se constituye como un referente valioso, no porque sea perfecto, sino porque fue diseñado con intención, con atención al contexto y con voluntad de permanencia. Y desde su experiencia es posible delinear algunas claves para pensar el futuro de la infraestructura eléctrica pública en Colombia y América Latina.

Seguridad: del diseño a la operación

La seguridad eléctrica no puede entenderse únicamente como el cumplimiento de la norma. Implica una comprensión integral del riesgo, desde la selección de materiales hasta el mantenimiento predictivo. Significa prever la posibilidad de una falla y diseñar para que, si ocurre, no cause daño. En regiones como Buenaventura, donde el ambiente es agresivo y las condiciones sociales son complejas, esta seguridad debe pensarse de forma reforzada: transformadores secos con protecciones térmicas, protecciones diferenciales en todos los puntos de uso humano frecuente, pararrayos funcionales, mallas de tierra confiables y sistemas de desconexión rápida ante fallas.

Pero la seguridad no es solo técnica: también es social. Un sistema que no puede ser entendido ni operado por quienes trabajan en el edificio es un sistema inseguro. Por eso, la seguridad exige documentación clara, planos accesibles,

capacitación a operarios y procedimientos institucionales explícitos. La seguridad se construye, se comunica y se cuida.

Eficiencia: más allá del ahorro energético

La eficiencia energética no puede reducirse a la idea de consumir menos. Implica consumir de forma inteligente, racional, adaptada al contexto y con visión de largo plazo. En infraestructura pública, ser eficiente es aprovechar al máximo los recursos sin comprometer el funcionamiento, sin exigir de más a la red eléctrica, sin instalar más de lo necesario, pero sí lo justo y bien diseñado.

El caso del edificio ICETEX demostró que es posible balancear cargas, reducir caídas de tensión, anticipar armónicos, minimizar pérdidas y prever monitoreo futuro. Pero más allá de la instalación, la eficiencia debe proyectarse como cultura institucional. Cada oficina, cada luminaria, cada equipo conectado es una oportunidad para revisar cómo se usa la energía pública y cómo se promueve una conciencia de cuidado colectivo. Como señala la CEPAL (2016), la eficiencia energética no es solo una cuestión técnica: es un instrumento de política pública para garantizar sostenibilidad, equidad y justicia intergeneracional.

Normatividad: del cumplimiento mínimo al estándar público

En Colombia, el RETIE y la NTC 2050 ofrecen un marco robusto para el diseño eléctrico. Sin embargo, cumplir con la norma no debería ser el techo de la ambición técnica, sino el piso mínimo. Muchas veces, lo que la norma permite no es lo mejor posible. Por eso, es necesario que las entidades públicas avancen hacia la consolidación de estándares institucionales propios, más exigentes, más adaptados al territorio y más coherentes con las necesidades de largo plazo.

Esto implica no depender exclusivamente del contratista, sino contar con equipos de diseño internos o asesores técnicos capaces de revisar, ajustar, actualizar y mejorar lo propuesto. Significa también que las licitaciones públicas deben pasar de ser catálogos de ítems a ser procesos de diálogo técnico, en los que la calidad esté por encima del precio y la trazabilidad pese más que la urgencia.

Cumplir la norma es necesario. Superarla con inteligencia técnica, sensibilidad territorial y ética pública es lo que verdaderamente construye una infraestructura digna.

Capacidad instalada: el recurso más escaso

Ninguna infraestructura se mantiene sola. El mayor riesgo de cualquier instalación eléctrica pública es que, una vez inaugurada, quede a merced del deterioro silencioso. Por eso, uno de los factores más críticos para consolidar una infraestructura segura, eficiente y normativa es la existencia de capacidades técnicas locales: personal formado, procedimientos claros, recursos asignados para mantenimiento y una cultura de seguimiento institucional.

Los edificios públicos deberían ser también espacios de aprendizaje técnico. Cada uno de ellos puede convertirse en un pequeño laboratorio de formación en energía, en donde estudiantes de ingeniería, técnicos eléctricos, administrativos y operarios puedan aprender sobre eficiencia, mantenimiento, monitoreo y seguridad. Solo así se garantiza que la inversión inicial no se pierda, que el conocimiento no se desvanezca, y que los errores no se repitan.

Hacia una política pública de infraestructura eléctrica

Hacia el final de este recorrido, el libro propone ir más allá del análisis técnico y del estudio de caso para plantear un llamado claro: la necesidad de construir en Colombia una

política pública nacional de infraestructura eléctrica institucional. Esta no debería limitarse a normas generales o a exigencias técnicas mínimas, sino consolidarse como una estrategia integral que articule criterios de diseño, seguimiento, formación, financiamiento y gestión territorial.

En primer lugar, dicha política debería contemplar la elaboración de una guía técnica nacional actualizada, que recoja criterios de diseño diferenciados según los diversos climas y regiones del país, reconociendo que no es posible aplicar el mismo estándar en el altiplano cundiboyacense que en el litoral pacífico o la Amazonía. Esta guía debe nacer de la experiencia acumulada por entidades públicas, universidades, gremios técnicos y territorios que han sabido adaptar la ingeniería a sus condiciones.

Asimismo, es necesario establecer un sistema nacional de auditoría eléctrica periódica que evalúe el estado de las instalaciones en edificaciones públicas, más allá de su inauguración. Esta auditoría permitiría verificar el cumplimiento normativo, identificar fallas latentes, y generar alertas tempranas que eviten accidentes o deterioro anticipado de los sistemas.

Junto a esto, se hace imprescindible la creación de un registro nacional de instalaciones

eléctricas públicas, que incluya planos, fichas técnicas, capacidades instaladas y márgenes de expansión. Esta base de datos, debidamente gestionada y actualizada, permitiría tomar decisiones informadas, planear inversiones futuras y reducir la fragmentación institucional que hoy caracteriza a muchas entidades.

Otro pilar indispensable es el fortalecimiento de la formación técnica para operarios públicos, especialmente en regiones apartadas donde escasea el personal capacitado. Este programa debería vincularse con instituciones de formación para el trabajo, universidades regionales y sistemas de certificación laboral, de forma que cada edificio público cuente con alguien que lo entienda, lo cuide y lo proyecte.

Finalmente, la política debe contemplar un fondo específico de mantenimiento preventivo eléctrico, independiente del presupuesto general de funcionamiento. La falta de recursos exclusivos para este fin ha sido una de las causas recurrentes del deterioro de instalaciones públicas, que se ven obligadas a operar en condiciones inseguras o ineficientes por falta de partidas oportunas.

Estas acciones no son quimeras. Existen precedentes, capacidades y necesidades urgentes. Lo que se requiere es voluntad institucional, decisión política y articulación intersectorial. Pero, sobre todo, se necesita un

cambio de mirada: entender que la infraestructura eléctrica no es un gasto inevitable, sino una inversión estratégica. Inversión en desarrollo territorial, en equidad social, en dignidad ciudadana y en gobernabilidad del Estado.

Epílogo

Este libro nació de un conjunto de planos, cálculos, normas técnicas y decisiones de ingeniería. Pero muy pronto se volvió algo más. Al revisar cada componente del diseño eléctrico del edificio ICETEX en Buenaventura, se hizo evidente que detrás de los conductores, tableros y transformadores había una pregunta mucho más profunda: ¿cómo ilumina el Estado los territorios que históricamente ha dejado en penumbra?

La electricidad no es neutral. Cuando llega, transforma. Cuando falla, revela las fracturas. Y cuando se diseña con sensibilidad, puede convertirse en una herramienta de equidad, de justicia y de presencia institucional. Eso fue, en el fondo, lo que se intentó mostrar a lo largo de estas páginas: que un sistema eléctrico puede ser también una declaración de principios.

Diseñar con rigor técnico es importante. Cumplir con las normas es necesario. Garantizar la eficiencia energética es urgente. Pero lo más esencial es entender que cada obra pública es también una promesa. Una promesa de continuidad, de cuidado, de respeto por las personas que habitarán ese edificio y dependerán, silenciosamente, de su buen funcionamiento.

Desde el Pacífico colombiano, este proyecto demostró que sí es posible hacer infraestructura pública con excelencia, incluso en contextos difíciles. Que el territorio no debe ser una excusa, sino un punto de partida. Que las normas pueden ser interpretadas con inteligencia. Y que la ingeniería, cuando se hace con ética, también puede ser pedagogía.

El edificio ICETEX en Buenaventura ya está en funcionamiento. Sus luces se encienden cada mañana. Sus tomas alimentan los equipos de quienes trabajan por el acceso a la educación. Sus sistemas protegen a quienes caminan por sus pasillos. Pero su mayor valor no está solo en lo que hace, sino en lo que enseña: que diseñar para lo público es diseñar para la vida. Y que cada cable bien trazado, cada plano claro, cada decisión fundada, es también una forma de justicia.

Este libro es, entonces, una memoria técnica, sí. Pero también es un acto de confianza: confianza en que otra manera de hacer infraestructura es posible. Más humana, más territorial, más digna. Porque donde hay energía, hay posibilidad. Y donde hay posibilidad, hay futuro.

Bibliografía

Banco Mundial. (2019). *Public Infrastructure and Service Delivery in Developing Countries*. World Bank Group.

Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. (2014). *Resolución 038 de 2014*.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2016). *Infraestructura pública en América Latina: desafíos y oportunidades para la sostenibilidad*. Naciones Unidas.

Escobar, A. (2016). *Sentipensar con la tierra: nuevas lecturas sobre desarrollo, territorio y diferencia*. Universidad de los Andes.

García, H., & Zapata, J. (2018). *Diseño y mantenimiento de instalaciones eléctricas eficientes en climas adversos*. Universidad Nacional de Colombia.

ICNIRP. (2010). *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz)*. Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante.

ICONTEC. (1998). *NTC 1329: Representación gráfica para instalaciones eléctricas – Símbolos*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (1998). *NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2008). *NTC 4552-1: Protección contra rayos. Principios generales*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2008). *NTC 4552-2: Protección contra rayos. Evaluación del riesgo*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2008). *NTC 4552-3: Protección contra rayos. Daños físicos a estructuras y amenazas a la vida*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

IEC. (2002). *IEC 60947-2: Low-voltage switchgear and controlgear – Circuit-breakers*. International Electrotechnical Commission.

IEC. (2004). *IEC 60076-11: Dry-type power transformers*. International Electrotechnical Commission.

IEC. (2005). *IEC 61643-1: Low-voltage surge protective devices*. International Electrotechnical Commission.

IEC. (2010). *IEC 62305: Protection against lightning*. International Electrotechnical Commission.

IEC. (2011). *IEC 62271-200: High-voltage switchgear and controlgear – Part 200*. International Electrotechnical Commission.

IEC. (2012). *IEC 60076-11: Power transformers – Dry-type transformers*. International Electrotechnical Commission.

IEEE. (1993). *IEEE Std 141-1993: Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants (Red Book)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE. (1999). *IEEE Std 1313.2-1999: Guide for the Application of Insulation Coordination*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE. (2000). *IEEE Std 80-2000: Guide for safety in AC substation grounding*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE. (2001). *IEEE Std 242-2001: Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE. (2001). *IEEE Std 519-1992: Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)*. Resolución 90708.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Resolución 0549: Requisitos para edificios nuevos con criterios de eficiencia energética*. Gobierno de Colombia.

NFPA. (2021). *NFPA 70: National Electrical Code*. National Fire Protection Association.

NFPA. (2021). *NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace*. National Fire Protection Association.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2007). *Campos electromagnéticos y salud pública: exposición a campos eléctricos y magnéticos en frecuencias extremadamente bajas*.

Torres Sánchez, H. (2008). *Protección contra rayos*. Universidad Nacional de Colombia – ICONTEC.

Turrin, M., von Buelow, P., & Kilian, A. (2019). *Documentation as Infrastructure: Sustaining the knowledge of complex systems*. *Journal of Building Performance*, 10(1), 45–59.

Universidad del Pacífico. (2024). *Memorias de cálculo eléctricas – Edificio ICETEX Buenaventura*. Documento técnico interno.