



Título: Revisión de la ingeniería básica y verificación normativa del sistema colector del Parque
Eólico Beta 280 MW

Sebastián Palma Cancelado

Informe de practica presentado para optar al titulo de Ingeniero Electricista

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Selecione tipo de orientador(es)

Jaime Alejandro Valencia Velásquez, Doctor (PhD) en Ingeniería Industrial

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Palma Cancelado, 2024)
Referencia	Palma Cancelado, S. (2024). <i>Revisión de la ingeniería básica y verificación normativa del sistema colector del Parque Eólico Beta 280 MW</i> [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	3
Lista de tablas.....	6
Lista de Ilustraciones.....	7
Siglas, acrónimos y abreviaturas.....	8
Resumen.....	9
Abstract	10
1. Introducción	11
2. Objetivos	12
2.1 Objetivo general	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3. Marco teórico	13
3.1 Normativas Internacionales Aplicables: IEC (International Electrotechnical Commission)	13
3.1.1 Relevancia de las Normas IEC en Proyectos de Energía Renovable.....	13
3.1.2 Normas IEC Relevantes para el Sistema Colector.....	13
3.2 Normativa colombiana aplicable.....	14
3.2.1 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).....	14
3.2.2 Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050).....	15
3.2.3 Relevancia de las Normas Colombianas en Proyectos de Energía Renovable	15
3.2.4 Normas RETIE Relevantes para el Sistema Colector.....	15
3.2.5 Normas de la NTC 2050 Relevantes para el Sistema Colector	16
3.3 Regulación Eléctrica Colombiana Aplicable	17

3.3.1	La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).....	17
3.3.2	Código Nacional de Operación (CNO).....	18
3.3.3	Resolución CREG 075 y su impacto en la entrada en operación del sistema colector..	18
3.3.4	Acuerdo CNO 1835 y su relevancia para el sistema colector.....	18
3.4	Regulación ambiental colombiana aplicable.....	19
3.5	Estándares Internos de la Empresa y su Aplicación al Proyecto.....	20
4.	Descripción del proyecto.....	21
4.1	Localización	21
4.2	Línea de transmisión	23
4.2.1	Tramo Beta – Alpha.....	23
4.2.2	Tramo Alpha – Cuestecitas.....	24
4.3	Obras Civiles	25
4.3.1.	Viales	25
4.3.2.	Excavaciones y Movimiento de Tierras.....	26
4.4	Obras Eléctricas.....	27
4.4.1	Parámetros Eléctricos Considerados.....	27
4.4.2	Diseño del Sistema Colector.....	30
4.5.2	Acompañamiento Comunitario.....	36
4.5.3	Retos Sociales y Su Impacto en el Proyecto.....	37
4.6	Situación Ambiental	38
4.6.1	Contexto Ambiental y Gestión de la Licencia	38
4.6.2	Retoma del Proceso de Licenciamiento Ambiental	38
4.6.4	Retos Meteorológicos en la Construcción	39
5.	Metodología	40
5.1	Actividades.....	40

5.1.1 Capacitación.....	40
5.1.2 Recopilación de Información.....	40
5.1.3 Descripción del Proyecto	40
5.1.4 Documentación de los Elementos Suministrados.....	41
5.1.5 Revisión de la Ingeniería	41
6. Análisis de resultados.....	42
6.1 Revisión de la ingeniería básica	42
6.1.1 Caída de Tensión.....	42
6.1.2 Disposición Física del Cableado.....	43
6.1.3 Certificación del Cableado de Media Tensión.....	44
6.2 Documentación de Paros y Retrasos	44
6.3 Revisión de los Elementos Almacenados en Bodega.....	45
7. Conclusiones	47
8. Referencias	48

Lista de tablas

Tabla 1. Características del cableado del sistema colector.	31
Tabla 2. Factor de corrección por temperatura del terreno.	32
Tabla 3. Factor de corrección por resistividad térmica del suelo.	32
Tabla 4. Factor de corrección por número de ternas en zanja.	33
Tabla 5. Cálculo de Intensidad Máxima admisible.	34
Tabla 6. Comparación del cableado almacenado con respecto a la ingeniera básica.	46

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Vista en planta parque eólico Beta 280MW	21
Ilustración 2. Vista en planta comunidades presente en área de intervención, parque eólico Beta	22
Ilustración 3. Vista en Planta línea de transmisión Beta - Alpha	23
Ilustración 4. Características del cableado de media tensión	28
Ilustración 5 Diagrama unifilar de sistema colector de media tensión.	30
Ilustración 6. Días de afectación por Incidencias sociales durante la construcción.....	37
Ilustración 7. Viales internos del proyecto, afectados por las condiciones climatológicas.	39

Siglas, acrónimos y abreviaturas

IEC	International Electrotechnical Commission
NTC	Norma Técnica Colombiana
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
NEC	National Electrical Code
CNO	Consejo Nacional de Operación
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
FPO	Fecha de Puesta en Operación
FNCER	Fuente No Convencional de Energía Renovable

Resumen

El presente informe desarrolla la revisión y documentación del sistema colector de media tensión del Parque Eólico Beta de 280 MW, localizado en La Guajira. El objetivo principal fue tomar la ingeniería básica entregada previamente y verificar su conformidad con los estándares internos de la empresa propietaria del proyecto, EDP Renewables, los cuales están basados en normativas internacionales, así como con las regulaciones colombianas aplicables. Este proceso permitió garantizar que los diseños cumplen con los requisitos técnicos, legales y de calidad necesarios para su correcta implementación en el proyecto.

Durante la revisión, se analizaron aspectos clave como la caída de tensión, la disposición física del cableado y la homologación de los conductores adquiridos. Este análisis incluyó la comparación de los diseños con diversas normas técnicas y estándares de la empresa, confirmando que los componentes seleccionados cumplen con las exigencias técnicas establecidas. Adicionalmente, el proceso permitió validar otros aspectos del sistema colector, asegurando que estos cumplen con las especificaciones requeridas para su correcta operación.

En el proceso de revisión de la información, surgió la necesidad de documentar los retrasos en el cronograma ocasionados por factores externos, como problemáticas sociales y eventos climáticos extremos. Estos incidentes fueron analizados bajo el marco de la Resolución 075 de la CREG, que reconoce tales eventos como fuerza mayor y permite justificar un cambio en la Fecha de Puesta en Operación (FPO). La recopilación y documentación de esta información se realizó con el fin de iniciar los trámites necesarios para ajustar la FPO del proyecto, lo que beneficiaría a la empresa al mitigar las consecuencias de estos retrasos.

Abstract

The present report outlines the review and documentation of the medium-voltage collector system for the 280 MW Beta Wind Farm, located in La Guajira. The primary objective was to take the previously delivered basic engineering and verify its compliance with the company's internal standards, which are based on international regulations, as well as applicable Colombian regulations. This process ensured that the designs meet the technical, legal, and quality requirements necessary for their proper implementation in the project.

During the review, key aspects such as voltage drop, the physical arrangement of the cabling, and the homologation of the purchased conductors were analyzed. This analysis included comparing the designs with various technical standards and company guidelines, confirming that the selected components comply with the established technical requirements. Additionally, the process validated other aspects of the collector system, ensuring they meet the specifications required for proper operation.

During the review of the information, the need arose to document delays in the schedule caused by external factors, such as social issues and extreme weather events. These incidents were analyzed under the framework of Resolution 075 of the CREG, which recognizes such events as force majeure and allows for the justification of a change in the Project's Commissioning Date (FPO). The collection and documentation of this information were carried out to initiate the necessary procedures to adjust the project's FPO, which would benefit the company by mitigating the consequences of these delays.

1. Introducción

El presente informe se enfoca en la revisión y validación del diseño del sistema colector de media tensión y de comunicaciones del Parque Eólico Beta, ubicado en La Guajira, con una potencia instalada de 280 MW. Este parque, de gran importancia en el sector energético colombiano, requiere una infraestructura sólida que permita la integración eficiente de los aerogeneradores con la subestación, garantizando el cumplimiento de la normativa técnica colombiana y los estándares de calidad establecidos por la empresa.

La práctica se realizó en el contexto de la revisión de la ingeniería básica del proyecto, previamente entregada, con el objetivo de verificar la adecuación de los diseños a las especificaciones técnicas y regulatorias. En este proceso, se compararon los componentes del sistema, como el cableado y la disposición física, con los estándares internos de la empresa y las regulaciones nacionales, para asegurar que estos cumplieran con las condiciones requeridas para su correcta implementación.

La importancia de este trabajo radica en la necesidad de garantizar que los componentes del sistema colector cumplan con los parámetros establecidos, evitando contratiempos durante la ejecución del proyecto. Además, la revisión de los retrasos en el cronograma, debido a factores externos como eventos climáticos y sociales, permitió identificar la necesidad de documentar esta información y presentarla bajo el marco de la Resolución 075 de la CREG, con el fin de justificar el ajuste en la Fecha de Puesta en Operación (FPO) del proyecto.

La metodología empleada en este proceso consistió en la revisión detallada de la ingeniería básica del proyecto, la comparación de los elementos adquiridos con los especificados en los diseños y la evaluación de los factores externos que afectaron el cronograma. Como resultado, se logró una validación técnica del diseño y la documentación adecuada de los retrasos, lo que contribuirá a la optimización del proyecto en las siguientes fases de ejecución.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar y estandarizar el sistema colector de media tensión y de comunicaciones del parque eólico Beta, asegurando que cumpla con los estándares técnicos y normativos requeridos para su funcionamiento eficiente.

2.2 Objetivos específicos

Revisar y evaluar la ingeniería básica del sistema colector, contrastando sus especificaciones con la normativa colombiana RETIE y las directrices de la empresa.

Verificar la adecuación de los materiales adquiridos mediante la comparación de sus características técnicas con los requerimientos del proyecto y la normativa aplicable.

Documentar el proceso de revisión, validación y documentación, generando respaldos técnicos que certifiquen el cumplimiento de las normativas y estándares requeridos para la implementación del proyecto.

3. Marco teórico

3.1 Normativas Internacionales Aplicables: IEC (International Electrotechnical Commission)

La IEC es una organización global que desarrolla y publica estándares internacionales para tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas. Estas normativas son ampliamente reconocidas y utilizadas en proyectos eléctricos, ya que garantizan la seguridad, la calidad y la interoperabilidad de los sistemas. En el contexto del diseño y validación del sistema colector para el Parque Eólico Beta, se han considerado diversos estándares de la IEC debido a su relevancia técnica y su alineación con los estándares propios de la empresa (International Electrotechnical Commission, 2004).

3.1.1 Relevancia de las Normas IEC en Proyectos de Energía Renovable

En proyectos de generación de energía renovable, como los parques eólicos, el cumplimiento de las normativas internacionales es esencial para garantizar que las instalaciones eléctricas sean seguras, eficientes y sostenibles. Estas normas proporcionan directrices claras para el diseño, la selección de materiales, la ejecución de sistemas eléctricos y la ejecución e pruebas, asegurando que cumplan con requisitos de calidad y desempeño bajo diversas condiciones operativas.

3.1.2 Normas IEC Relevantes para el Sistema Colector

A continuación, se destacan las principales normas de la IEC aplicadas durante la revisión y validación del sistema colector del Parque Eólico Beta:

3.1.2.1 IEC 60332: Ensayos de comportamiento frente al fuego de cables eléctricos

Proporciona directrices para evaluar la resistencia de los cables eléctricos a la propagación de incendios. En el contexto del sistema colector, esta norma asegura que los cables instalados reduzcan el riesgo de propagación de fuego, mejorando la seguridad del sistema y cumpliendo con requisitos internacionales de resistencia al fuego. (International Electrotechnical Commission, 2004)

3.1.2.2 IEC 60949: Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes trifásicas de corriente alterna

Establece las metodologías para calcular las corrientes de cortocircuito en sistemas eléctricos. En el sistema colector, esta norma es clave para validar el diseño y garantizar que los conductores y equipos puedan soportar los valores de corriente de falla en condiciones extremas. (International Electrotechnical Commission, 1988)

3.1.2.3 IEC 60909: Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes trifásicas con tensiones nominales superiores a 1 kV

Proporciona directrices específicas para sistemas de alta tensión, complementando la IEC 60949. En el contexto del sistema colector, esta norma asegura que los cálculos de cortocircuito estén alineados con estándares internacionales, garantizando la confiabilidad y seguridad del sistema. (International Electrotechnical Commission, 2016)

3.2 Normativa colombiana aplicable

El cumplimiento de la normativa colombiana es esencial para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las instalaciones eléctricas en proyectos de gran envergadura como el Parque Eólico Beta. Entre las normativas más relevantes destacan el **RETIE** (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) y la **NTC 2050** (Norma Técnica Colombiana), las cuales establecen lineamientos específicos para la implementación y operación de sistemas eléctricos.

3.2.1 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)

El RETIE, de carácter obligatorio en Colombia, tiene como objetivo principal proteger la vida de las personas, el medio ambiente y los bienes mediante la regulación de las instalaciones eléctricas. Este reglamento abarca aspectos como la selección de materiales, sistemas de puesta a tierra, protección contra sobrecorrientes y cortocircuitos, y medidas de seguridad durante la instalación y operación de sistemas eléctricos. Su aplicación en el sistema colector del Parque Eólico Beta permitió asegurar que los materiales y equipos adquiridos cumplieran con las certificaciones necesarias y que las instalaciones se ajustaran a los más altos estándares de seguridad y confiabilidad. (Ministerio de Minas y Energía, 2024)

3.2.2 Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050)

La NTC 2050 adopta y adapta los principios del Código Eléctrico Nacional (NEC) a las condiciones y requerimientos particulares de Colombia. Esta norma técnica regula el diseño, construcción y mantenimiento de las instalaciones eléctricas, desde las conexiones de baja tensión hasta los sistemas de media y alta tensión. En el contexto del Parque Eólico Beta, la NTC 2050 fue clave para evaluar la correcta selección de conductores, las condiciones de instalación y la capacidad de los equipos eléctricos, garantizando un desempeño óptimo y seguro bajo las condiciones climáticas y operativas de La Guajira. (Unidad de Planeación Mineroenergética de Colombia, 2018)

3.2.3 Relevancia de las Normas Colombianas en Proyectos de Energía Renovable

En el contexto de proyectos de energía renovable como los parques eólicos, el cumplimiento del RETIE y la NTC 2050 adquiere una relevancia especial debido a las particularidades técnicas y ambientales asociadas a este tipo de instalaciones. Por un lado, el RETIE asegura que los materiales y equipos utilizados cumplan con estándares internacionales de seguridad y que las instalaciones sean confiables incluso en condiciones adversas. Por otro lado, la NTC 2050 garantiza que los diseños eléctricos se ajusten a las normativas nacionales, contemplando aspectos específicos como la protección contra fallas eléctricas, la eficiencia energética y la integración adecuada de los sistemas de generación al sistema interconectado nacional.

La correcta aplicación de estas normativas no solo contribuye a la viabilidad técnica y legal del proyecto, sino que también refuerza la sostenibilidad y el cumplimiento de los objetivos ambientales, reduciendo los riesgos operativos y maximizando la seguridad en todas las etapas del proyecto.

3.2.4 Normas RETIE Relevantes para el Sistema Colector

El RETIE es un reglamento obligatorio en Colombia que tiene como objetivo garantizar la seguridad de las personas, bienes y el medio ambiente en instalaciones eléctricas. Los artículos más relevantes aplicados al sistema colector incluyen:

3.2.4.1 Artículo 15: Clasificación de los materiales eléctricos

Este artículo regula que los materiales eléctricos utilizados en instalaciones de media tensión deben contar con certificaciones de conformidad que acrediten su idoneidad y desempeño técnico. En el sistema colector, este artículo se relaciona directamente con la selección de los cables

y accesorios que transportan la energía generada por los aerogeneradores hacia la subestación. El cumplimiento de esta normativa asegura que los materiales resistan las condiciones climáticas extremas de La Guajira y cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos (Ministerio de Minas y Energia, 2024).

3.2.4.2 Artículo 20: Sistemas de puesta a tierra

Este artículo especifica los parámetros para diseñar y construir sistemas de puesta a tierra, incluyendo la resistencia máxima permitida, el diseño de los electrodos y los métodos de conexión.

El sistema colector depende de un diseño robusto de puesta a tierra para garantizar la seguridad frente a descargas atmosféricas y fallas eléctricas, protegiendo tanto a los equipos como al personal de mantenimiento (Ministerio de Minas y Energia, 2024).

3.2.4.3 Artículo 29: Sobrecorrientes y cortocircuitos

Este artículo exige que las instalaciones eléctricas incluyan sistemas de protección contra sobrecorrientes y cortocircuitos, para limitar los efectos de fallas que puedan comprometer la operación del sistema. En el sistema colector, este artículo se aplica a través de la instalación de protecciones en los cables y equipos, asegurando que el sistema pueda soportar condiciones de falla sin poner en riesgo su integridad (Ministerio de Minas y Energia, 2024).

3.2.5 Normas de la NTC 2050 Relevantes para el Sistema Colector

La NTC 2050 adopta lineamientos del Código Eléctrico Nacional (NEC) y regula el diseño, construcción y operación de las instalaciones eléctricas en Colombia. Algunos de los apartados más relevantes aplicados al sistema colector son:

3.2.5.1 Artículo 250: Puesta a tierra y protección contra sobrecorrientes

Este artículo establece los criterios para diseñar sistemas de puesta a tierra, considerando aspectos como la resistencia del sistema, los métodos de conexión y las protecciones contra sobrecorrientes. En el sistema colector, este artículo es fundamental para garantizar que los conductores y equipos estén adecuadamente conectados a tierra, minimizando riesgos eléctricos y asegurando una operación confiable (Unidad de Planeacion Mineroenergetica de Colombia, 2018).

3.2.5.2 Artículo 310: Conductores para sistemas eléctricos

Este artículo regula la selección y uso de conductores eléctricos, estableciendo requisitos de capacidad de corriente, resistencia mecánica y condiciones de instalación. El sistema colector se beneficia de este artículo al validar que los conductores utilizados son capaces de soportar las corrientes previstas y las condiciones climáticas de la región, como altas temperaturas y vientos fuertes (Unidad de Planeación Mineroenergética de Colombia, 2018).

3.2.5.3 Artículo 400: Cables eléctricos para media tensión

Este artículo especifica los estándares para cables de media tensión, incluyendo propiedades de aislamiento, resistencia mecánica y compatibilidad con ambientes adversos. Los cables del sistema colector deben cumplir con este artículo para garantizar su durabilidad y seguridad durante la transmisión de energía desde los aerogeneradores hasta la subestación. (Unidad de Planeación Mineroenergética de Colombia, 2018)

3.3 Regulación Eléctrica Colombiana Aplicable

La regulación colombiana juega un papel fundamental en la integración de proyectos de generación renovable, como el Parque Eólico Beta, al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Entidades como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y el Código Nacional de Operación (CNO) establecen directrices técnicas y operativas que aseguran la confiabilidad, eficiencia y estabilidad del sistema eléctrico del país. Estas normativas buscan garantizar que los sistemas eléctricos se diseñen e implementen bajo altos estándares de calidad y compatibilidad técnica.

3.3.1 La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)

La CREG es la entidad responsable de regular el mercado eléctrico en Colombia, promoviendo la eficiencia y sostenibilidad del sector. Entre sus funciones principales se encuentran la creación de normas técnicas y operativas para la integración de nuevos proyectos de generación al SIN y el establecimiento de condiciones regulatorias que aseguren la competitividad y estabilidad del sistema eléctrico. Su regulación es particularmente relevante para los proyectos que involucran fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), como los parques eólicos, asegurando que se integren de manera ordenada y eficiente a la infraestructura eléctrica nacional (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2021).

3.3.2 Código Nacional de Operación (CNO)

El CNO es un marco normativo que regula las condiciones de operación del SIN, buscando mantener un sistema eléctrico estable, seguro y confiable. Este código contiene lineamientos detallados para la operación de plantas de generación, subestaciones y líneas de transmisión, asegurando la coordinación adecuada entre todos los agentes del sector eléctrico. Es una herramienta fundamental para definir los criterios técnicos que deben cumplir los proyectos de generación en Colombia, garantizando la compatibilidad de estos con las normas nacionales y los requerimientos del sistema interconectado (Consejo Nacional de Operación del sector Eléctrico , 2024).

3.3.3 Resolución CREG 075 y su impacto en la entrada en operación del sistema colector

La Resolución CREG 075 establece los lineamientos para que los proyectos de infraestructura eléctrica puedan gestionar modificaciones en sus fechas de entrada en operación (FPO) cuando se presentan situaciones de fuerza mayor o caso fortuito. Esta normativa busca proteger la viabilidad técnica y económica de los proyectos frente a eventos externos imprevistos, asegurando su continuidad dentro del marco regulatorio.

En el caso del Parque Eólico Beta, esta resolución fue utilizada como referencia para recopilar y sustentar la información necesaria que respalda el inicio del proceso de solicitud para el cambio de la FPO. Entre las principales afectaciones documentadas se incluyeron los bloqueos sociales, las condiciones climáticas adversas

La importancia de esta resolución radica en que permite al proyecto garantizar la alineación con las disposiciones regulatorias, minimizando los riesgos asociados a posibles sanciones por incumplimiento. Además, refuerza la necesidad de una planificación adecuada y de la recopilación detallada de evidencia técnica y administrativa, elementos esenciales para mitigar los impactos de eventos imprevistos y asegurar el cumplimiento de los objetivos del sistema colector y del parque en su conjunto.

3.3.4 Acuerdo CNO 1835 y su relevancia para el sistema colector

El Acuerdo CNO 1835, establecido por el Consejo Nacional de Operación (CNO), regula aspectos clave relacionados con la operación del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Este

acuerdo aborda las condiciones y procedimientos necesarios para garantizar la correcta integración de los proyectos eléctricos, promoviendo la estabilidad operativa y el cumplimiento de estándares técnicos dentro del sistema eléctrico colombiano. En el contexto del Parque Eólico Beta, el Acuerdo CNO 1835 fue fundamental como marco normativo para documentar y sustentar las características técnicas y operativas del sistema colector. Durante la etapa de revisión, se recopiló información detallada para asegurar que el diseño y los elementos del sistema cumplieran con las disposiciones del acuerdo, considerando aspectos como la confiabilidad, la seguridad y la compatibilidad con el SIN (Consejo Nacional de Operación del sector Eléctrico , 2024).

Este acuerdo es especialmente relevante para proyectos de energía renovable, ya que garantiza que su integración al sistema nacional se realice sin comprometer la estabilidad operativa ni la calidad del suministro. Además, proporciona directrices para enfrentar desafíos técnicos asociados a la conexión de proyectos como el Parque Eólico Beta, promoviendo la transparencia y la estandarización en los procedimientos de operación y conexión del sistema colector.

3.4 Regulación ambiental colombiana aplicable

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) es la entidad encargada de otorgar, supervisar y hacer cumplir las licencias ambientales en Colombia. Su misión principal es garantizar que los proyectos que puedan generar impactos significativos en el medio ambiente se desarrollen bajo parámetros de sostenibilidad, mitigando riesgos y protegiendo los recursos naturales. A través de su marco normativo, el ANLA establece requisitos técnicos y administrativos que los proyectos deben cumplir para obtener la viabilidad ambiental necesaria para su ejecución

En el caso del Parque Eólico Beta, la regulación ambiental de la ANLA es crucial, ya que este tipo de proyectos involucran actividades que pueden generar impactos en el entorno, como la modificación del uso del suelo, la construcción de infraestructura y la operación del sistema. La licencia ambiental otorgada por esta entidad garantiza que el proyecto haya evaluado y gestionado de forma adecuada aspectos como el manejo de residuos, la protección de la biodiversidad, la compensación ambiental, socialización con las comunidades y la gestión de riesgos asociados a las actividades del parque eólico (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales , 2025).

La importancia del cumplimiento de la regulación ambiental radica en que no solo asegura la sostenibilidad del proyecto, sino que también permite su aceptación social y el alineamiento con los objetivos de desarrollo sostenible. En proyectos de energía renovable como el Parque Eólico

Beta, el marco normativo de la ANLA contribuye a fortalecer la transición energética del país al establecer lineamientos claros que promueven la armonía entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente.

La aplicabilidad de las disposiciones de la ANLA en este tipo de proyectos no solo se limita a su diseño y construcción, sino que también abarca la operación y el desmantelamiento futuro, garantizando que todo el ciclo de vida del proyecto cumpla con altos estándares ambientales. Esto refuerza la responsabilidad de los desarrolladores de monitorear constantemente los impactos ambientales y de implementar estrategias de mitigación efectivas, asegurando la sostenibilidad a largo plazo del sistema colector y del parque eólico en su conjunto.

3.5 Estándares Internos de la Empresa y su Aplicación al Proyecto

La empresa dispone de guías de diseño, lineamientos técnicos y plantillas que sirven como referencia para los contratistas, asegurando el cumplimiento de normativas internacionales, como las IEC, y de sus propios estándares internos. Estas directrices permiten una supervisión rigurosa de los diseños, optimizando aspectos técnicos y económicos del proyecto. Las guías para la especificación de equipos garantizan que los componentes seleccionados cumplan con los requisitos normativos y las exigencias internas de calidad, que en algunos casos son más estrictas. Esto asegura que los materiales, como el cableado del sistema colector, cumplan con las normativas colombianas, los estándares internacionales y los criterios específicos del proyecto (EDP Renewables, 2021)

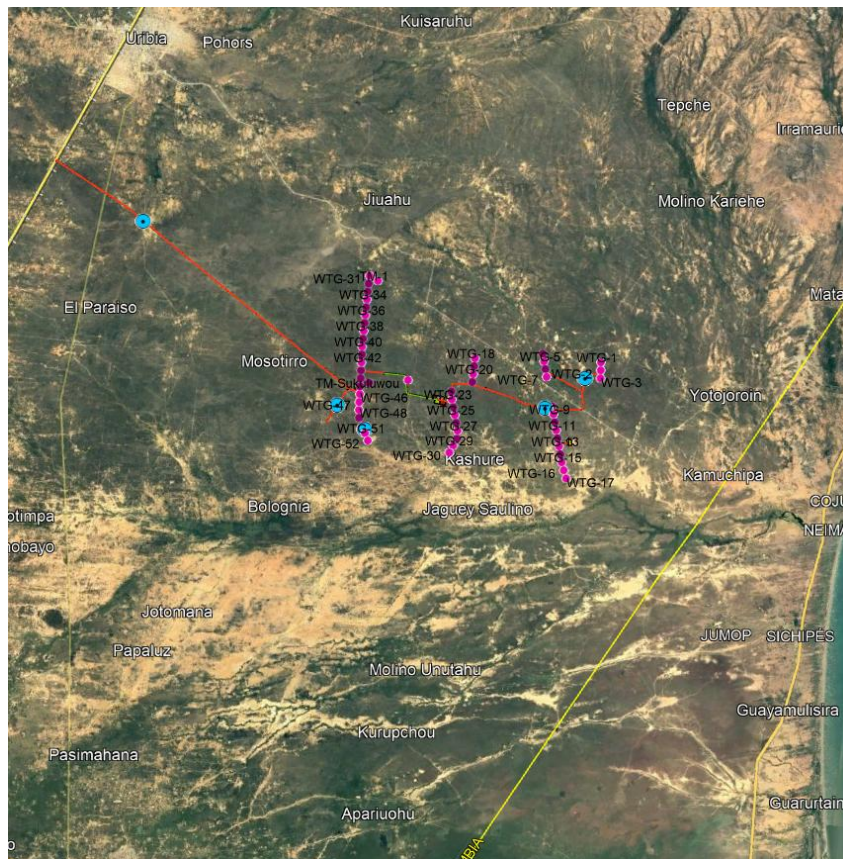
En el contexto del Parque Eólico Beta, estos estándares internos han sido clave para alinear los diseños con las expectativas de calidad, minimizar riesgos y garantizar la eficiencia y sostenibilidad del sistema colector.

4. Descripción del proyecto

4.1 Localización

El parque eólico Beta está localizado en el Departamento de La Guajira, al norte de Colombia, en la región Caribe, dentro de la jurisdicción de los municipios de Uribia y Maicao. Se encuentra aproximadamente a 15 km al oriente de la cabecera municipal de Uribia y a 25 km al norte de Maicao. Además, el extremo oriental del proyecto se encuentra a 5 km de la frontera colombo-venezolana. El acceso principal al parque está ubicado en el kilómetro 30 de la carretera nacional 88, que conecta Puerto Bolívar con El Carmen.

Ilustración 1. Vista en planta parque eólico Beta 280MW



Nota. Adaptado de Informe Geotécnico, EDP Renewables, 2021 (Inédito), (EDP, 2021)

El proyecto abarca un área total de 11.628,63 hectáreas y está formado por 51 aerogeneradores conectados a un sistema colector de media tensión. Este sistema transporta la energía generada hacia una subestación eléctrica elevadora compartida con el parque eólico Alpha.

Desde dicha subestación, la energía transformada es conducida al Sistema de Transmisión Nacional a través de una línea de transmisión de doble circuito en 500 kV.

El acceso a los aerogeneradores se realiza mediante una red vial interna que incluye un camino central de 13 km y siete ramales de acceso, con una longitud total de aproximadamente 50,3 km. Los anchos de calzada varían según el tramo, cumpliendo con las especificaciones de diseño y adaptándose a las condiciones del terreno, así como a las restricciones sociales y ambientales de la zona.

El proyecto se desarrolla en territorio Wayúu, una región con alta concentración indígena en La Guajira. Este contexto ha sido clave para las decisiones técnicas y sociales durante las fases de diseño y ejecución del proyecto.

Ilustración 2. Vista en planta comunidades presente en área de intervención, parque eólico Beta

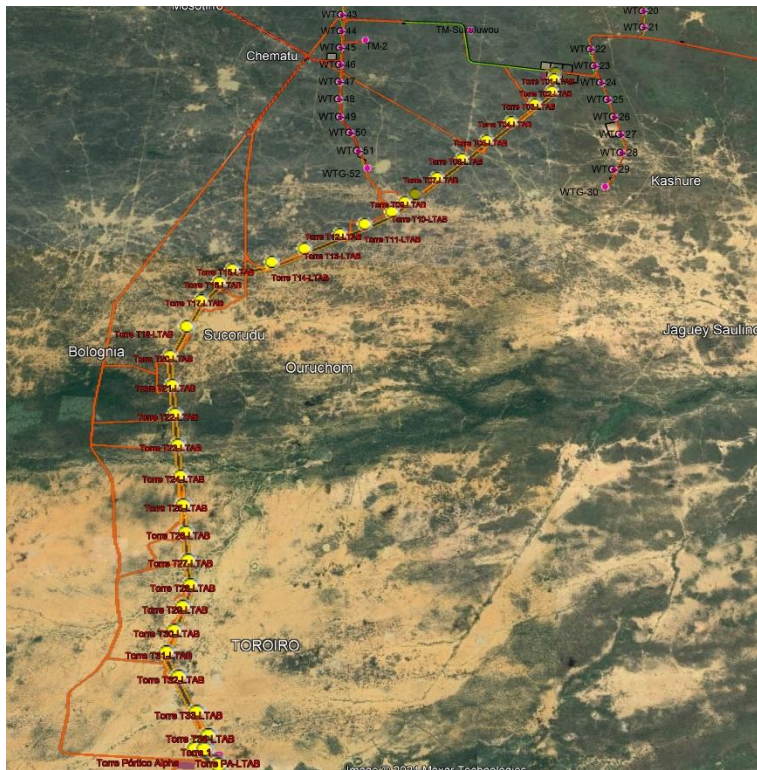


Nota. Adaptado de Informe Geotécnico, EDP Renewables, 2021 (Inédito), (EDP, 2021)

4.2 Línea de transmisión

El proyecto contempla la construcción, operación y mantenimiento de una línea eléctrica de transmisión de 500 kV, diseñada para interconectar las subestaciones de los parques eólicos Beta y Alpha con la nueva subestación Cuestecitas, ubicada en el municipio de Albania. Esta

Ilustración 3. Vista en Planta línea de transmisión Beta - Alpha



Nota. Adaptado de Informe Geotécnico, EDP Renewables, 2021 (Inédito), (EDP, 2021)

infraestructura es fundamental para el transporte de la energía generada en los parques hacia el Sistema de Transmisión Nacional.

Además de su relevancia para el funcionamiento del proyecto actual, esta línea de transmisión es clave para viabilizar futuros desarrollos energéticos en la región por parte de la empresa. Debido a su magnitud, complejidad y los altos costos asociados, representa la ruta crítica del proyecto, definiendo los tiempos y etapas de construcción necesarias para garantizar su éxito.

La línea de transmisión se divide en dos tramos principales:

4.2.1 Tramo Beta – Alpha

Este segmento conecta la subestación Beta, ubicada en el municipio de Uribia, con la subestación Alpha, situada en el municipio de Maicao. La línea tiene una extensión de 13,53 km

y está conformada por 34 torres, de las cuales 22 son de suspensión y 12 de retención, además de dos pórticos ubicados en las subestaciones Beta y Alpha.

Inicialmente diseñada como un circuito sencillo, la línea fue replanteada para operar en doble circuito, lo que permitirá integrar otros proyectos planificados por la empresa en la región y facilitar futuras expansiones. Sin embargo, dado que el material estructural para las torres ya fue adquirido bajo las especificaciones originales, se están evaluando los sobrecostos asociados a esta modificación.

4.2.2 Tramo Alpha – Cuestecitas

Desde la subestación Alpha, la línea continua hacia la nueva subestación Cuestecitas, ubicada en el municipio de Albania. Este tramo tiene una extensión de 66,92 km y está compuesto por 146 torres, mayoritariamente diseñadas para doble circuito, salvo cuatro estructuras de circuito sencillo situadas en la llegada a la subestación Cuestecitas. También incluye dos pórticos, uno en Alpha y otro en Cuestecitas.

Entre los desafíos de este segmento se encuentra la considerable distancia que abarca, lo que exige la construcción y adecuación de accesos a los sitios de las torres. Además, debido a una elevación de 142 metros y las condiciones geomorfológicas del terreno, la cimentación de 42 torres requiere el uso de explosivos controlados. Este aspecto ha sido crítico durante el proceso de licenciamiento ambiental debido a las posibles repercusiones en la fauna circundante. Sin embargo, se han implementado planes de manejo ambiental aprobados por la ANLA para mitigar estos impactos.

Otro reto significativo es el cruce de la vía férrea de Cerrejón, que afecta el diseño de las torres T111 y T112. Estas deben cumplir con especificaciones especiales para garantizar la operación segura de la vía férrea, respetando las distancias de seguridad requeridas.

Asimismo, la ejecución de este tramo incluye una logística compleja que contempla 5 patios de almacenamiento, 33 plazas de tendido, 9 helipuertos y 6 teleféricos, infraestructuras esenciales para el montaje y tendido de las torres.

En síntesis, la línea Beta - Alpha - Cuestecitas, con una extensión total de 80,45 km y 180 estructuras estratégicamente distribuidas, es un componente crítico para el desarrollo del proyecto

eólico Beta. Su diseño y ejecución enfrentan retos significativos, desde modificaciones estructurales para incorporar un doble circuito hasta complejas cimentaciones en terrenos geológicamente desafiantes y la integración con infraestructuras existentes, como la vía férrea de Cerrejón. Además, el licenciamiento ambiental por parte de la ANLA ha sido un factor determinante, ya que su ausencia ha generado retrasos en las actividades y desaceleración en las obras planificadas. Sin embargo, la implementación de estrategias de manejo ambiental, el diseño ajustado a las condiciones de la región y el compromiso con las normativas vigentes reflejan los esfuerzos realizados para garantizar que este proyecto pueda avanzar una vez se obtengan las autorizaciones necesarias, consolidándose como una pieza clave para la transición energética de la región.

4.3 Obras Civiles

4.3.1. Viales

El diseño de la red de viales del parque eólico Beta tiene como objetivo proporcionar acceso eficiente a los aerogeneradores y demás infraestructuras del proyecto, minimizando las afecciones al terreno natural y respetando las características ambientales y culturales de la zona. Se prioriza el uso de caminos existentes, diseñando nuevos trazados únicamente donde sea estrictamente necesario y bajo criterios de menor impacto ambiental.

4.3.1.1 Vial de Acceso

El acceso principal al parque Beta se realiza a través de la carretera que conecta los municipios de Maicao y Albania, con un ramal específico que enlaza también con el parque Alpha. Este tramo tiene una longitud de 16,7 kilómetros y un ancho de calzada de 4 metros. Para facilitar las maniobras de los vehículos, especialmente aquellos de gran tamaño y maniobrabilidad limitada que transportan componentes clave como partes de los aerogeneradores, palas y transformadores, se han dispuesto apartaderos estratégicos: de 50 metros cada 500 metros y de 100 metros cada 1000 metros.

Actualmente, este tramo de vía representa el segmento con mayores avances dentro del proyecto, alcanzando un 80 % de ejecución. Este progreso incluye la finalización de las obras de drenaje transversal y longitudinal, así como la habilitación de accesos a las comunidades locales, garantizando una integración adecuada y funcional con la infraestructura del parque.

4.3.1.2 Viales Internos

Los viales internos están diseñados para garantizar el acceso a los 51 aerogeneradores, las torres meteorológicas, la subestación y otras instalaciones del parque, como la planta de cementos y los campamentos. En total, se han planificado 15 tramos de caminos interiores con una longitud combinada de 33,1 kilómetros.

Estos viales han sido diseñados para facilitar la maniobrabilidad de los vehículos esenciales para la construcción del parque. Incluyen reversaderos, apartaderos estratégicos y plataformas específicas para garantizar el tránsito seguro y eficiente de maquinaria pesada y vehículos de transporte durante todas las etapas del proyecto.

4.3.2. Excavaciones y Movimiento de Tierras

Las excavaciones de las bases de los aerogeneradores representan una parte fundamental de las obras civiles del parque eólico Beta. Este proceso no solo permite la preparación de las fundaciones necesarias para las estructuras, sino que también se aprovecha el material extraído para la conformación de los terraplenes de los viales.

De acuerdo con las cubicaciones realizadas y los estudios de aptitud del material, se determinó que al realizar las excavaciones de los aerogeneradores en paralelo con la construcción de los viales y mediante un adecuado movimiento de tierras, no será necesario recurrir al uso de material de préstamo para los terraplenes.

En ciertos casos, el material extraído será mejorado mediante la adición de materiales complementarios para optimizar sus características y garantizar su idoneidad en la conformación de los viales. Esta estrategia no solo reduce costos y tiempos, sino que también minimiza el impacto ambiental al aprovechar los recursos internos del proyecto de manera eficiente.

4.4 Obras Eléctricas

El sistema eléctrico del parque eólico Beta está diseñado para garantizar una conexión segura y eficiente de los 51 aerogeneradores modelo VESTAS V162, con una capacidad instalada total de 285,6 MW, hacia la subestación eléctrica del parque. Aunque la construcción de este sistema aún no ha comenzado debido a los factores previamente descritos, todos los elementos necesarios ya han sido adquiridos y se encuentran almacenados en las bodegas de Uribia.

El objetivo principal del análisis es verificar que los diseños eléctricos existentes, junto con el cableado ya adquirido, cumplan con las normativas técnicas colombianas y las especificaciones internas de la empresa. Adicionalmente, se revisarán los diseños incorporando la nueva información geotécnica suministrada, lo que permitirá garantizar la viabilidad técnica del proyecto. Para ello, se procederá con la descripción detallada de los diseños eléctricos y la información de ingeniería asociada.

4.4.1 Parámetros Eléctricos Considerados

El diseño del sistema colector subterráneo de media tensión se basa en una serie de parámetros técnicos y normativos destinados a garantizar la seguridad, la eficiencia técnica y el cumplimiento de los estándares aplicables al proyecto. Los aspectos clave evaluados incluyen:

4.4.1.1 Condiciones de Instalación

Los cálculos eléctricos del sistema colector se llevaron a cabo considerando cables de media tensión tipo NA2XS2Y(F) 35 kV PH+PC con cubierta de HDPE resistente a rayos UV. Estos cables fueron diseñados para cumplir con las exigencias técnicas y ambientales del proyecto.

La instalación sigue los lineamientos especificados en las secciones típicas de zanjado referenciadas en la normativa interna de la empresa, asegurando que el diseño cumpla con los parámetros de seguridad y eficiencia requeridos.

Los calibres seleccionados para los cables son de 240, 400 y 630 mm², definidos según las demandas de corriente y las características específicas de cada circuito. Y, Estos calibres garantizan una adecuada capacidad de transporte eléctrico y minimizan las pérdidas en el sistema.

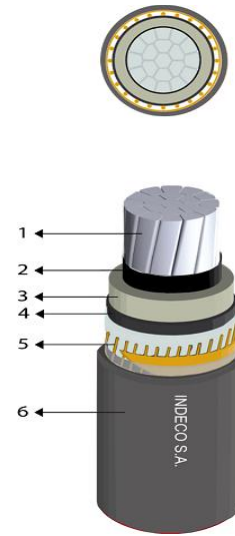
Ilustración 4. Características del cableado de media tensión

1. Conductor: Aluminio compactado 1350, clase B.
2. Semi-conductor interno: Compuesto extruido.
3. Aislamiento: Polietileno reticulado XLPE-TR (Tree retardant).
4. Semi-conductor externo: Compuesto extruido pelable.

Estos tres últimos componentes extruidos en CV (vulcanización continua) de triple extrusión en el proceso de curado en seco.

5. Pantalla: Alambres + cinta de cobre (con bloqueo longitudinal de humedad debajo y sobre la pantalla).

6. Cubierta externa: Polietileno de alta densidad HDPE-UV.



Nota. Adaptado de Ficha técnica INDECO, INDECO, 2021 (Inédito), (INDECO, 2021)

4.4.1.2 Consideraciones del Terreno

El sistema colector se instalará en un terreno evaluado exhaustivamente para garantizar que sus condiciones geotécnicas y térmicas sean adecuadas para una operación segura y eficiente de los cables. Las principales consideraciones incluyen:

Temperatura del terreno: Según los estudios geotécnicos realizados, la temperatura promedio del suelo es de 32,54 °C, un parámetro clave para calcular la capacidad de transporte térmico de los conductores, mediante la aplicación de factores de corrección.

Resistividad térmica: Con un valor de 1 K·m/W, determinado también a partir del estudio geotécnico, se verificó que el suelo tenga la capacidad de disipar el calor generado por los cables durante la operación. Además, de ser necesaria para el cálculo del factor de corrección de la resistividad térmica.

Geometría del terreno: Los trazados se adaptaron a las características geomorfológicas de la zona, donde los desniveles del terreno son moderados, evitando pendientes pronunciadas, minimizando las afectaciones a las parcelas y mejorando la integración con la infraestructura existente.

4.4.1.3 Criterios de Diseño

El diseño del sistema colector subterráneo de media tensión se fundamentó en principios técnicos y económicos que garantizan su seguridad, eficiencia y sostenibilidad. Los criterios clave incluyen:

Seguridad: Se priorizó la protección de las personas, los equipos y las instalaciones mediante un diseño que cumpla con la normativa colombiana y las especificaciones internas de la empresa.

Impacto ambiental: Se minimizaron las afectaciones al entorno ajustando los trazados de los circuitos a los límites de las parcelas y siguiendo el vial principal del parque para reducir la intervención en el terreno.

Optimización técnico-económica: Se equilibraron los costos de inversión con las pérdidas eléctricas, estableciendo secciones de conductores que garantizaran aspectos técnicos óptimos.

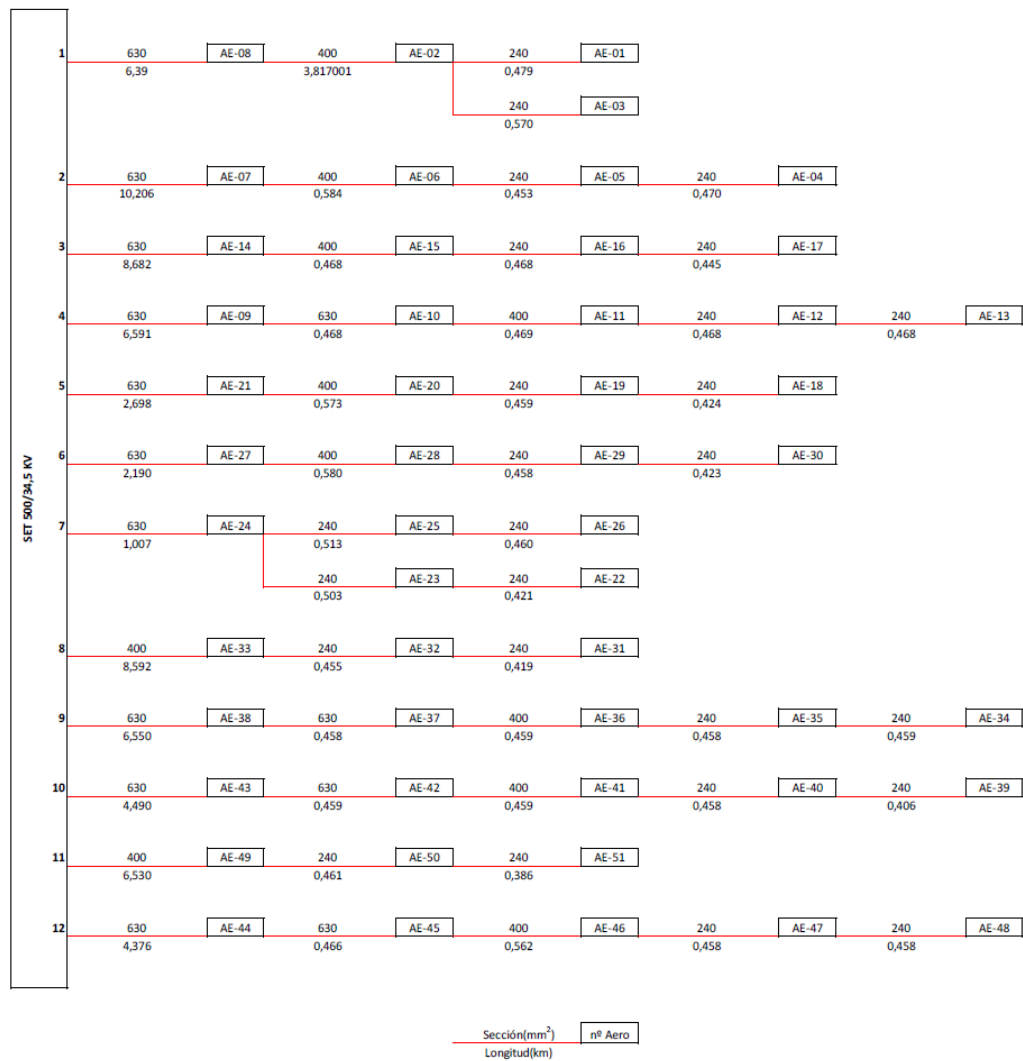
Adaptabilidad: El diseño se ajustó a las características operativas de los aerogeneradores, considerando una potencia máxima por circuito de 28 MW a 34,5 kV.

Normativa: Se aplicaron los estándares definidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y las especificaciones técnicas de EDPR, como las relativas al diseño de zanjas y las características de los cables.

4.4.2 Diseño del Sistema Colector

El sistema colector está compuesto por 12 circuitos subterráneos que conectan los aerogeneradores con la subestación del parque. Cada circuito fue diseñado para transportar un máximo de 28 MW a un nivel de tensión de 34,5 kV.

Ilustración 5 Diagrama unifilar de sistema colector de media tensión.



Nota. Adaptado de Informe Ingeniería Básica, EDP, 2021 (Inédito), (EDP, 2021)

Se utilizaron conductores de aluminio de secciones variables según las demandas específicas de cada tramo:

Tabla 1. Características del cableado del sistema colector.

SECCIÓN TRASVERSAL	240 MM²	400 MM²	630 MM²
Tipo de cable	RHZ1-OL	RHZ1-OL	RHZ1-OL
Sección	240 mm ²	400 mm ²	630 mm ²
Conductor	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Aislamiento	XLPE-TR	XLPE-TR	XLPE-TR
Tensión nominal	20/34,5 kV	20/34,5 kV	20/34,5 kV
Intensidad máxima (I)	345 A	445 A	585 A
Resistencia eléctrica (90 °C)	0,125 Ω/km	0,078 Ω/km	0,0469 Ω/km
Reactancia eléctrica	0,138 Ω/km	0,132 Ω/km	0,1271 Ω/km
Disposición de cables	Tres cables unipolares agrupados	Tres cables unipolares agrupados	Tres cables unipolares agrupados
Pantalla metálica	16 mm ² Cu	16 mm ² Cu	16 mm ² Cu

Los valores de Intensidad máxima anteriores corresponden a los valores admisibles por los conductores en las condiciones de instalación estándar, que consta de una terna en trébol de cables a 1 m de profundidad, temperatura de terreno 25 °C y resistividad térmica 1.5 Km/W.

4.4.2.1 Cálculo de intensidad máxima admisible

Debido a que las condiciones de instalación son diferentes a las condiciones de instalación estándar brindadas por el fabricante, en la Ingeniería básica se aplicó factores de corrección con el fin de adaptarse a las condiciones del proyecto, descritas en el informe geotécnico. Se aplicaron los siguientes factores de corrección:

Cables enterrados directamente en terrenos cuya T^a sea distinta de 25°C (C1)

Existen tablas tabuladas donde se muestran los factores de corrección en función de la temperatura máxima en servicio permanente del cable y la temperatura del terreno:

Tabla 2. Factor de corrección por temperatura del terreno.

TEMPERATURA MÁXIMA EN SERVICIO PERMANENTE (°C)	TEMPERATURA DEL TERRENO T EN °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
105	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,9	0,87	0,83
90	1,11	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
70	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67
65	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61

Nota. Adaptado de Informe Ingeniería Básica, EDP, 2021 (Inédito), (EDP, 2021)

Aplicando una regla de proporcionalidad a los datos de la tabla se encuentra un Factor de corrección de **0,94**.

Cables enterrados, directamente o entubados, en terrenos de resistividad térmica distinta de 1,5, K.m/W (C2)

Tabla 3. Factor de corrección por resistividad térmica del suelo.

SECCIÓN NOMINAL (MM ²)	RESISTIVIDAD TÉRMICA DEL TERRENO K.M/W
240	1,19
400	1,19
630	1,19

Nota. Adaptado de Informe Ingeniería Básica, EDP, 2021 (Inédito), (EDP, 2021)

Dependiendo del calibre se tienen diferentes factores de corrección, estos valores están asociados a una resistividad térmica de 1 Km/W, como es el caso promedio del terreno del proyecto.

Ternas de cables unipolares agrupados bajo tierra (C2).**Tabla 4. Factor de corrección por número de ternas en zanja.**

SEPARACIÓN DE LAS TERNAS (M)	N° DE TERNAS DE LA ZANJA		
	1	2	3
0,2	1	0,82	0,73

Nota. Adaptado de Informe Ingeniera Básica, EDP, 2021 (Inédito), (**EDP, 2021**)

Por las condiciones particulares el diseño se tienen zanjas con un máximo de 3 ternas, esto permite que las dimensiones de la zanja no aumenten significativamente

Cables enterrados en una zanja a diferentes profundidades (C4).

SECCIÓN NOMINAL (MM ²)	RESISTIVIDAD TÉRMICA DEL TERRENO K.M/W
240	1,19
400	1,19
630	1,19

Nota. Adaptado de Informe Ingeniera Básica, EDP, 2021 (Inédito), (**EDP, 2021**)

Cables enterrados en una zanja en el interior de tubos o similares (C5).

Para cableado directamente enterrados, como es el caso general del proyecto, se trabaja con un factor de corrección de 1, como así lo menciona el informe de ingeniería básica.

Tabla 5. Cálculo de Intensidad Máxima admisible.

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE											
CIRCUITO Nº.	WT Origen	WT Final	Sección (mm2)	lzo (A)	C1	C2	C3	C4	C5	lz (A)	lb (A)
1	1	2	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	100,77
	3	2	240	345	0,94	1,18	0,82	0,99	1	310,72	100,77
	2	8	400	445	0,94	1,18	0,82	0,99	1	400,78	302,31
	8	ST	630	585	0,94	1,18	0,73	0,99	1	469,05	403,07
2	4	5	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	100,77
	5	6	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	201,54
	6	7	400	445	0,94	1,18	0,82	0,99	1	400,78	302,31
	7	ST	630	585	0,94	1,18	0,73	0,99	1	469,05	403,07
3	17	16	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	100,77
	16	15	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	201,54
	15	14	400	445	0,94	1,18	1	0,99	1	488,76	302,31
	14	ST	630	585	0,94	1,18	0,82	0,99	1	526,87	403,07
4	13	12	240	345	0,94	1,18	0,82	0,99	1	310,72	100,77
	12	11	240	345	0,94	1,18	0,82	0,99	1	310,72	201,54
	11	10	400	445	0,94	1,18	0,82	0,99	1	400,78	302,31
	10	9	630	585	0,94	1,18	0,82	0,99	1	526,87	403,07
5	9	ST	630	585	0,94	1,18	0,82	0,99	1	526,87	503,84
	18	19	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	100,77
	19	20	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	201,54
	20	21	400	445	0,94	1,18	1	0,99	1	488,76	302,31
6	21	ST	630	585	0,94	1,18	0,73	0,99	1	469,05	403,07
	30	29	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	100,77
	29	28	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	201,54
	28	27	400	445	0,94	1,18	1	0,99	1	488,76	302,31
7	27	ST	630	585	0,94	1,18	0,82	0,99	1	526,87	403,07
	26	25	240	345	0,94	1,18	0,82	0,99	1	310,72	100,77
	25	24	240	345	0,94	1,18	0,82	0,99	1	310,72	201,54
	22	23	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	100,77
8	23	24	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	201,54
	24	ST	630	585	0,94	1,18	0,82	0,99	1	526,87	503,84
	31	32	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	100,77
	32	33	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	201,54
9	33	ST	400	445	0,94	1,18	0,82	0,99	1	400,78	302,31
	34	35	240	345	0,94	1,18	0,82	0,99	1	310,72	100,77
	35	36	240	345	0,94	1,18	0,82	0,99	1	310,72	201,54
	36	37	400	445	0,94	1,18	0,82	0,99	1	400,78	302,31
	37	38	630	585	0,94	1,18	0,82	0,99	1	526,87	403,07
	38	ST	630	585	0,94	1,18	0,82	0,99	1	526,87	503,84

10	39	40	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	100,77
	40	41	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	201,54
	41	42	400	445	0,94	1,18	1	0,99	1	488,76	302,31
	42	43	630	585	0,94	1,18	1	0,99	1	642,53	403,07
	43	ST	630	585	0,94	1,18	1	0,99	1	642,53	503,84
11	51	50	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	100,77
	50	49	240	345	0,94	1,18	1	0,99	1	378,93	201,54
	49	ST	400	445	0,94	1,18	0,82	0,99	1	400,78	302,31
12	48	47	240	345	0,94	1,18	0,82	0,99	1	310,72	100,77
	47	46	240	345	0,94	1,18	0,82	0,99	1	310,72	201,54
	46	45	400	445	0,94	1,18	0,82	0,99	1	400,78	302,31
	45	44	630	585	0,94	1,18	0,82	0,99	1	526,87	403,07
	44	ST	630	585	0,94	1,18	0,82	0,99	1	526,87	503,84

Nota. Adaptado de Informe Ingeniera Básica, EDP, 2021 (Inédito), (*EDP, 2021*)

I_{z0} Intensidad máxima admisible en condiciones estándar.

I_z Intensidad máxima admisible aplicados los coeficientes de corrección.

I_b Intensidad máxima calculada que circula por el conductor.

El diseño del sistema colector cumple con la condición de intensidad máxima admisible, ya que, después de aplicar todos los factores de corrección correspondientes, se verifica que la intensidad máxima admisible del cable (**I_z**) es superior a la corriente de carga proyectada (**I_b**). Esto garantiza que los conductores pueden operar de manera segura y eficiente bajo las condiciones reales del proyecto, evitando sobrecalentamientos y prolongando la vida útil del cableado.

4.4.4 Estudios Eléctricos Realizados

Estos análisis incluyen evaluaciones detalladas de la capacidad de transporte de los cables, la resistencia térmica del terreno y el comportamiento del sistema frente a contingencias como cortocircuitos.

Capacidad de Transporte Eléctrico

La capacidad térmica de los conductores seleccionados (240, 400 y 630 mm²) se verificó bajo condiciones normales y de sobrecarga. Se confirmó que, en todos los casos, la potencia transportada en los circuitos es menor que la potencia máxima soportada por cada tipo de cable.

Esto garantiza que los cables no sobrepasen su capacidad térmica durante el funcionamiento normal y en escenarios de sobrecarga, cumpliendo así con las demandas de corriente del sistema.

Caída de Tensión

La caída de tensión en cada circuito fue evaluada y se comprobó que no supera el 2 %, manteniéndose por debajo del límite del 3 % establecido por la normativa. Este parámetro es fundamental para garantizar una transmisión eficiente de energía a lo largo de las líneas de media tensión, asegurando que las pérdidas sean mínimas y que el sistema opere de manera óptima.

Resistencia a Cortocircuitos

El diseño del sistema colector también evaluó la resistencia a cortocircuitos de los cables seleccionados. Se verificó que la corriente máxima de cortocircuito trifásico calculada es menor que la corriente máxima soportada por los cables, lo que asegura que los conductores puedan resistir eventos de cortocircuito sin comprometer su integridad.

Pérdidas de Energía por Efecto Joule

Las pérdidas por efecto Joule, calculadas durante el régimen de operación del parque eólico, representan menos del 0.83 % de la energía total transportada por el cableado en un año de funcionamiento, lo que evidencia la eficiencia del sistema colector diseñado.

4.5 Situación social

Desde el inicio del proyecto del parque eólico Beta, las comunidades locales pertenecientes a la etnia Wayúu han recibido un acompañamiento constante por parte de la empresa. Este compromiso se fundamenta en los lineamientos establecidos por el gobierno colombiano y en las políticas internas de la compañía, que buscan promover relaciones basadas en el respeto mutuo y la colaboración en las áreas de influencia del proyecto.

4.5.2 Acompañamiento Comunitario

La empresa ha implementado una estrategia integral de acompañamiento para garantizar que el desarrollo del parque eólico genere beneficios tangibles para las comunidades locales. Este proceso ha incluido:

Consultas previas y reuniones informativas: Para explicar el alcance del proyecto, detallar sus beneficios y resolver las inquietudes presentadas por las comunidades.

Generación de empleo local: Incluyendo la contratación de guías locales y personal de las comunidades, promoviendo el desarrollo económico regional.

Proyectos sociales y compensaciones: Enfocados en la mejora de la educación, la infraestructura básica y el apoyo a actividades tradicionales, respetando la cultura Wayúu.

4.5.3 Retos Sociales y Su Impacto en el Proyecto

A lo largo de los años, las comunidades han planteado diversas exigencias adicionales que han dificultado el desarrollo normal del proyecto. Entre las principales problemáticas se destacan:

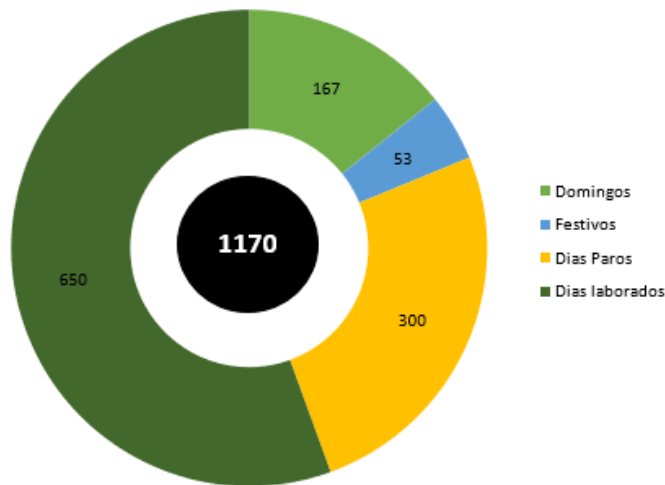
Demandas por mayores participaciones económicas: Solicitudes de aumentos en los pagos asociados a su participación en el proyecto, lo que ha provocado retrasos en la ejecución de actividades críticas.

Exigencias de mayores pagos a los guías locales: Estas peticiones han generado interrupciones logísticas, afectando especialmente el transporte de materiales y personal.

Disputas internas y cuestiones religiosas: Conflictos dentro de las propias comunidades, así como razones culturales y religiosas, han ocasionado bloqueos parciales o totales en los accesos a ciertas áreas del proyecto.

Estas incidencias sociales han acumulado un total de 300 días de retraso en los últimos cuatro años, siendo el año 2022 el más afectado con 149 días no laborados debido a paros y bloqueos. A pesar de los esfuerzos constantes de la empresa para mantener el diálogo y la colaboración, las dificultades persisten, impactando negativamente el cronograma y el presupuesto

Ilustración 6. Días de afectación por Incidencias sociales durante la construcción



A pesar de estos retos, la empresa mantiene su compromiso de trabajar de manera cercana con las comunidades Wayúu, asegurando un diálogo constante y actividades de acompañamiento. Este enfoque busca resolver los conflictos existentes y prevenir futuras interrupciones, garantizando que el proyecto avance de manera sostenible y respetuosa con las dinámicas sociales de la región.

El esfuerzo por equilibrar las demandas comunitarias con las necesidades del proyecto refleja el compromiso de la empresa con un desarrollo responsable que integre a las comunidades como socios activos, a pesar de los desafíos que esto implica.

4.6 Situación Ambiental

4.6.1 Contexto Ambiental y Gestión de la Licencia

El parque eólico Beta, adquirido por EDPR en 2020, ha enfrentado importantes desafíos en el ámbito ambiental, particularmente en la gestión de la licencia ambiental. La licencia inicial, otorgada en 2019, fue archivada en 2021 por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) debido a deficiencias en su evaluación, atribuidas a problemas con la empresa vendedora del proyecto y los diseñadores de la licencia. Entre estas deficiencias se destacó la falta de previsión ante situaciones críticas relacionadas con el manejo de las comunidades locales, el diseño de las obras de drenaje transversales (ODTs) y la ubicación de los sitios de descarga, aspectos fundamentales para la ejecución del proyecto y la obtención de su aprobación ambiental.

La decisión del ANLA de archivar la licencia resultó en la paralización de actividades en la línea de transmisión, considerada la ruta crítica del proyecto. Esto no solo generó retrasos importantes, sino que también impactó las actividades internas del parque, las cuales dependen directamente del progreso en la construcción de la línea.

4.6.2 Retoma del Proceso de Licenciamiento Ambiental

En 2023, la empresa reinició el proceso de licenciamiento ambiental desde cero, incorporando nuevos estudios técnicos para abordar las deficiencias previas. Este esfuerzo incluyó la respuesta a más de **60 recursos de requerimientos** presentados por el ANLA.

Entre las medidas adoptadas para atender estos requerimientos se encuentran el cableado y izaje de líneas mediante drones, una técnica que evita la apertura de brechas innecesarias, así como

la reconfiguración de obras de drenaje transversales (ODTs) y la recolocación de ciertos accesos a torres para reducir impactos ambientales.

En julio de 2024, se radicó oficialmente la nueva licencia ambiental, iniciando una fase de inspecciones y revisiones exhaustivas por parte del ANLA. La resolución definitiva está programada para febrero de 2025, momento en el cual se espera poder reanudar las actividades de construcción.

relacionados con la necesidad de realizar achiques de agua para mitigar inundaciones en las áreas de trabajo. Aunque las lluvias eran un factor previsto, los cambios meteorológicos recientes han superado los escenarios planteados inicialmente.

4.6.4 Retos Meteorológicos en la Construcción

Durante los años de construcción, el proyecto también ha enfrentado retrasos debido a condiciones meteorológicas adversas. Aunque se contemplaron lluvias estacionales en los planes de construcción, los eventos registrados han sido más intensos y frecuentes de lo esperado, con tiempos de retorno inusualmente cortos.

En total, las lluvias afectaron 87 días laborables, impactando tanto los trabajos en los viales como en la construcción de la subestación. Estas condiciones también generaron sobrecostos relacionados con la necesidad de realizar achiques de agua para mitigar las inundaciones. Este escenario refuerza la importancia de adaptarse a cambios climáticos inesperados que superan las previsiones iniciales del proyecto.

Ilustración 7. Viales internos del proyecto, afectados por las condiciones climatológicas.



Nota. Adaptado de Informe Security EDP, EDP, 2021 (Inédito), (**EDP, 2021**)

5. Metodología

5.1 Actividades

5.1.1 Capacitación

La primera actividad fue la capacitación, enfocada en comprender los procesos internos de la empresa y el uso de sus herramientas específicas. Este paso fue fundamental, ya que permitió adquirir conceptos y metodologías clave para abordar las siguientes etapas del proyecto. La capacitación incluyó familiarización con las plataformas internas, las normativas aplicables y los flujos de trabajo utilizados por EDPR. Gracias a esta preparación, la recopilación de datos y la ejecución de tareas posteriores se realizaron de manera más eficiente y estructurada.

Esta actividad tomó un total de 4 semanas.

5.1.2 Recopilación de Información

La primera actividad consistió en realizar una búsqueda exhaustiva de información relevante en las bases de datos de la empresa y otras fuentes técnicas confiables. Esta fase incluyó la generación de documentos que facilitaran la visualización de la información recopilada. Se priorizó la obtención de:

- Especificaciones de la normativa colombiana RETIE.
- Directrices propias de EDPR para sistemas eléctricos.
- Información técnica de los materiales suministrados para el proyecto.
- Informes realizados por las empresas encargadas de los estudios geotécnicos y topográficos.
- Documentos de ingeniería conceptual y básica del sistema colector, que definieron las dimensiones y características iniciales del sistema de media tensión.

Esta actividad requirió un total de 9 semanas.

5.1.3 Descripción del Proyecto

Durante esta actividad se recopiló información de diferentes áreas de la empresa, lo que permitió profundizar en la realidad del proyecto. Se recopiló información sobre los retrasos en las obras debido a incidencias sociales o circunstancias climatológicas adversas que impidieron el avance esperado. Esto tuvo como objetivo visualizar la problemática y sus impactos. La

documentación generada durante esta actividad es fundamental para lograr el cambio en la fecha de entrada en operación del sistema debido a causas de fuerza mayor comprobables, así como lo permite el artículo 17 de la resolución CREG 075 del 2021.

Esta actividad duró un total de 4 semanas.

5.1.4 Documentación de los Elementos Suministrados

Se tomaron los informes presentados por el contratista y por la empresa encargada de la bodega, en los cuales se hace mención a los elementos, como el cableado de media tensión que está almacenado. Se comparó el ítem y su descripción, así como su cantidad, con el fin de verificar que todos los ítems que menciona el contratista efectivamente estén incluidos por la empresa encargada de la bodega y además estas cantidades cumplen con las mencionadas dentro de los informes de la Ingeniería básica

Esta actividad tardó un total de 4 semanas.

5.1.5 Revisión de la Ingeniería

Con la información obtenida, se llevó a cabo una revisión detallada de la ingeniería básica del sistema colector. Esta etapa se centró en contrastar las especificaciones del diseño con los requerimientos establecidos en la normativa colombiana y las directrices internas de EDPR.

Esta actividad tomó un total de 4 semanas.

6. Análisis de resultados

6.1 Revisión de la ingeniería básica

Durante el desarrollo de la práctica, se logró realizar diferentes revisiones de la ingeniería básica suministrada por el contratista, comparándola con las normativas colombianas, las especificaciones internas de EDPR y la ingeniería básica realizada. Este enfoque permitió identificar posibles ajustes necesarios para garantizar el cumplimiento normativo, la eficiencia y la seguridad del sistema colector. A continuación, se exponen tres casos representativos de esta metodología de comparación:

6.1.1 Caída de Tensión

Normativa Colombiana: Según el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y la Norma Técnica Colombiana NTC 2050, la caída de tensión entre el punto de generación y la subestación no debe superar el 3 % de la tensión nominal. Este requisito asegura que las pérdidas de energía en el sistema sean mínimas y que el desempeño eléctrico sea eficiente.

Especificaciones Internas de EDPR: En el documento TCSP-EU/TSE&C-WF-00009 *Wind farm design guideline*, específicamente en el artículo 9.2, se establece que la caída de tensión máxima permitida entre los aerogeneradores y la subestación debe ser del 2 %. Este límite más restrictivo busca optimizar la eficiencia operativa del parque, alineándose con los estándares internacionales de diseño para sistemas de generación renovable.

Ingeniería Básica: Los diseños iniciales del sistema colector se desarrollaron con el objetivo de optimizar los costos, logrando un balance entre el incremento en la sección de los conductores y las pérdidas presupuestadas por la caída de tensión. Con los calibres seleccionados (240, 400 y 630 mm²), se calculó una caída máxima de tensión entre los circuitos y la subestación del 2,09 %, valor que cumple tanto con las exigencias normativas colombianas como con las especificaciones internas de EDPR.

6.1.2 Disposición Física del Cableado

Normativa Colombiana: Según la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050), específicamente en el artículo 300-5, se establecen lineamientos clave para la instalación de sistemas de media tensión directamente enterrados. Los requisitos principales son:

Profundidad mínima de enterramiento:

90 cm desde la superficie del suelo hasta la parte superior del cable y 1 metro en áreas con tránsito vehicular o cargas pesadas.

Marcación del cableado:

Uso de cintas no metálicas de advertencia para evitar daños por excavaciones futuras. Las cuales deben colocarse a una distancia no menor a 30 cm por encima del cableado.

Especificaciones Internas de EDPR: En el documento GPDC-EU-TSE&C-WF-00001 *MV Trench Section*, se describen las secciones típicas del cableado en zanjas, tanto para instalaciones directamente enterradas como para aquellas que emplean conduits. Las especificaciones principales son:

Profundidad de enterramiento: Los cables deben instalarse a una profundidad mínima de 1,1 metros desde la superficie del suelo.

Separación de la marcación: Las cintas de advertencia se deben colocar a 35 cm del cableado.

Protección mecánica adicional: Se emplean tejas prefabricadas colocadas a 15 cm por encima del cableado, para ofrecer mayor protección contra posibles daños durante futuras intervenciones o excavaciones.

Ingeniería Básica: Los diseños iniciales del sistema colector se desarrollaron considerando los layouts establecidos en las guías de diseño internas de EDPR, específicamente en las recomendaciones para zanjas de media tensión. Estos diseños contemplan:

El cumplimiento de las profundidades de enterramiento definidas en los estándares internos.

La instalación de cintas de marcación y protección mecánica en las zanjas, de acuerdo con las especificaciones mencionadas. Esta ingeniería básica asegura la alineación con los lineamientos de EDPR y cumple con los requisitos normativos colombianos, garantizando un diseño eficiente y seguro para el sistema colector.

6.1.3 Certificación del Cableado de Media Tensión

Normativa Colombiana: En el RETIE, artículo 20.2.1, se describen los requisitos generales y particulares para los diferentes cableados de uso eléctrico. Para el cableado de media tensión, se exige que cumplan una norma técnica internacional o de reconocimiento internacional que les aplique y demostrar que son aptos para esos usos mediante un Certificado de Conformidad de Producto. Entre estas normas se incluyen la IEC 60332-1 y IEC 60332-2.

Especificaciones Internas de EDPR: Según el documento TCSP-EU-TSE&C-MV&HV-00003 *Medium Voltage Insulated Cables and Accessories*, se describen todas las características, normas y especificaciones que deben cumplir los cables de media tensión para ser parte del sistema colector. En este se exige que el cableado cumpla con las normas internacionales de la IEC 60332-1-2.

Ingeniería Básica: Durante la ingeniería básica, se realizó una descripción de las características necesarias para el cableado de media tensión, el cual fue suministrado por Nexans. El proveedor presentó las respectivas homologaciones del cableado para ser usado en Colombia. Dentro de las normas a las cuales el proveedor da cumplimiento se encuentran la IEC 60332-1-2 e IEC 60754.

Con este enfoque metodológico, se aseguró que el sistema colector cumple con los estándares técnicos y normativos necesarios para su correcta operación.

6.2 Documentación de Paros y Retrasos

El análisis detallado de los datos recopilados durante la práctica permitió identificar y documentar diversas situaciones que influyeron negativamente en el desarrollo del proyecto, así como el impacto directo de estas sobre los cronogramas establecidos. Los resultados obtenidos destacan la importancia de abordar y gestionar los factores internos y externos que intervinieron en las actividades críticas del proyecto, ya que afectaron de manera significativa el cumplimiento de los plazos y las metas.

En particular, el registro de paros y retrasos evidenció que las principales causas de los retrasos en la ejecución de las obras fueron:

Problemáticas sociales con las comunidades locales: La interacción con las comunidades circundantes presentó desafíos imprevistos, generando bloqueos prolongados que afectaron el flujo normal de las actividades. Estas situaciones evidencian la necesidad de establecer

mejores mecanismos de diálogo y acuerdos previos que minimicen el impacto de este tipo de conflictos.

Condiciones climáticas adversas: Las condiciones meteorológicas, especialmente las lluvias intensas y los vientos fuertes, superaron las previsiones iniciales y afectaron negativamente los tiempos de trabajo, especialmente en las áreas de vialidad y otras zonas críticas para el avance de las obras. Las lluvias constantes, por ejemplo, provocaron inundaciones que dificultaron el acceso y el desplazamiento de equipos, lo que impidió realizar los trabajos en las fechas previstas.

Además, se resalta que uno de los aspectos clave para evitar o mitigar estos retrasos es la actualización constante de la información sobre los eventos que puedan afectar el desarrollo del proyecto. Es vital que los equipos involucrados en todas las áreas del proyecto cuenten con datos actualizados, precisos y congruentes, provenientes de diferentes fuentes dentro de la empresa.

En este sentido, la comunicación efectiva y el flujo de información entre todas las áreas de la empresa se vuelve indispensable. Solo con una visión integral y bien informada se podrán tomar decisiones rápidas y acertadas, lo que contribuirá a la optimización del proceso y la reducción de tiempos perdidos.

El análisis permitió evidenciar un retraso acumulado de más de **300 días**, lo que resalta la necesidad urgente de implementar estrategias más efectivas de mitigación para reducir la vulnerabilidad de los proyectos a estos imprevistos. En este contexto, se recomienda revisar y reforzar los protocolos de comunicación y cooperación con las comunidades locales, así como revisar los planes de contingencia climática, para garantizar que se puedan minimizar los impactos de estos factores en futuros proyectos.

Este ejercicio de análisis es fundamental para la mejora continua de los procesos de planificación y gestión en proyectos similares, ya que permite prever y mitigar riesgos que, de no ser abordados adecuadamente, podrían comprometer el éxito de la ejecución del proyecto.

6.3 Revisión de los Elementos Almacenados en Bodega

En el proceso de revisión de los elementos almacenados en bodega, se realizó un análisis exhaustivo que incluyó la comparación entre los insumos adquiridos, las cantidades declaradas por el contratista y los informes generados por la empresa encargada de la administración de la bodega.

Este análisis permitió corroborar que los materiales almacenados coinciden con los registros documentales en cuanto a cantidades y especificaciones declaradas.

Con el fin de realizar una evaluación más precisa, se tomaron como referencia los diseños del sistema colector de media tensión establecidos en la ingeniería básica. Estos diseños detallan aspectos clave como las distancias y el tipo de cableado necesario para cada conexión del sistema. A partir de esta información, se llevó a cabo un análisis comparativo entre los requerimientos de ingeniería y los materiales almacenados, con el objetivo de validar si las cantidades disponibles en bodega son suficientes y adecuadas para la correcta ejecución del proyecto.

El análisis identificó los siguientes resultados, presentados en la tabla:

Tabla 6. Comparación del cableado almacenado con respecto a la ingeniería básica.

Kcmil	AWG	Ingeniería	Bodega	Diferencia
500	240	33424	39517	15%
800	400	60332	61545	2%
1250	630	152928	168404	9%

Estos resultados confirman que los materiales almacenados superan los requerimientos de diseño en todas las categorías, con un margen de diferencia que varía entre el 2% y el 15%. Esto no solo asegura la disponibilidad de los insumos necesarios para ejecutar las conexiones del sistema colector, sino que también evidencia una gestión adecuada de los inventarios, alineada con los planes de ingeniería.

Además, este análisis destacó la importancia de contar con una integración efectiva entre los registros del contratista, la administración de la bodega y los diseños de ingeniería. Una gestión precisa y alineada permite anticiparse a posibles contratiempos, garantizando el cumplimiento de los plazos y la correcta ejecución del proyecto.

7. Conclusiones

La ingeniería básica suministrada a la empresa cumple con la normativa colombiana aplicable a los sistemas de media tensión y además con los estándares internos de EDP.

La metodología de revisión de la ingeniería básica permite generar trazabilidad y confiabilidad de los diseños

Los retrasos en la ejecución del proyecto fueron principalmente causados por problemáticas sociales con las comunidades locales y condiciones climáticas adversas, lo que afectó significativamente el cronograma de trabajo.

El Material suministrado cumple con las especificaciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema colector

Es necesario fortalecer las estrategias de mitigación de riesgos, especialmente en relación con factores externos, para reducir el impacto de situaciones imprevistas en futuros proyectos.

8. Referencias

- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales . (16 de Enero de 2025). *www.anla.gov.co*. Obtenido de <https://www.anla.gov.co/nosotros/institucional/somos-anla>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas . (2021). *Resolucion GREG 075*. Bogota.
- Consejo Nacional de Operación del sector Eléctrico . (2024). *Acuerdo 1835*. Bogota .
- EDP Renewables. (2021). *Medium Voltage Insulated Cables and Accessories (Inédito)*. Lisboa.
- EDP Renewables. (2021). *MV Trench Section (Inédito)*. Lisboa.
- EDP Renewables. (2021). *Wind Farm Desing Guideline (Inédito)*. Lisboa.
- INDECO . (2021). *Ficha Técnica NA2XS2Y(F) 35 kV*. Lima.
- International Electrotechnical Commission. (1988). *IEC 60949*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2004). *IEC 60332*. Ginebra.
- International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC 60909*. Ginebra.
- Ministerio de Minas y Energia. (2024). *RETIE*. Bogota.
- Unidad de Planeacion Mineroenergetica de Colombia. (2018). *NTC 2050*. Bogota.
- Unidad de Planeacion Mineroenergetica de Colombia. (2018). *NTC 2050*. Bogota.