UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Guía de Procedimiento para la Optimización Metodológica del Diseño de Plataformas de Aerogeneradores para Parques Eólicos y sus Carreteras.

Autores:

María Alejandra Rodríguez Cortés (20212579027)

Nicolás Jiménez Cárdenas (20212579006)

Monografía para optar al título de

Ingeniero Civil

Facultad Tecnológica

Proyecto Curricular de Ingeniería Civil

Bogotá D.C.

2024

Contenido

Introducción 5

Glosario de siglas 7

Problema de Investigación 8

Objetivos 9

Objetivo General 9

Objetivos Específicos 9

Marco conceptual 10

Capítulo 1: Determinar los Parámetros de Ubicación para la Construcción de Parques Eólicos 16

Topografía 18

Accesibilidad 21

Geotecnia 22

Geología 23

Hidrología 25

Meteorología 26

Temperatura 27

Viento 28

Humedad 30

Precipitaciones 30

Biodiversidad y Conservación 31

Condiciones Sociales 32

Capítulo 2: Detallar los Datos Geoespaciales e Iniciales Necesarios para el Diseño de Plataformas de Aerogeneradores y de sus Carreteras 35

Importación e Identificación de Puntos y Áreas de Trabajo 36

Topografía 36

Ubicación de los Aerogeneradores 38
Áreas Restringidas 39
Hidrografía 39
Geotecnia 40
Proveedores de Aerogeneradores 41
Criterios de Diseño Civil para las Plataformas 43
Zonas de una Plataforma de Grúa 48
Criterios de Diseño Civil para las Carreteras 55
Capítulo 3: Implementar la Metodología BIM como Herramienta para el Modelado y Análisis del Terreno 61
Contextualización de la Metodología BIM 61
Software Utilizado para la implementación BIM 63
Ambiente Virtual de Trabajo (AVT) 63
Software de Modelado 64
Software de Revisión 65
Inicio Ejemplo del Diseño de Plataformas de Aerogeneradores y sus Carreteras 66
Procedimiento Integración ACC y Data Shortcuts 67
Diseño Inicial 69
Diseño y Modelación de Plataformas de los Aerogeneradores 78
Diseño y Modelación de Carreteras 109
Entregables Básicos del Parque Eólico 134
Análisis y Discusión de los Resultados 144
Superando la falta de Información 144
Centralización y Accesibilidad de Información 144
Metodologías Estándar para el Diseño 145

Facilitación de la Evaluación de Impacto Ambiental 145
Criterios Metodológicos y Prácticos para Evaluar la Monografía 145
Recomendaciones 147
Recomendaciones para los Profesionales que Usen la Guía 147
Recomendaciones para la Academia 148
Recomendaciones para la Industria y el Sector de la Energía 149
Recomendaciones para los Responsables de Políticas Públicas 150
Conclusiones 151
Referencias Bibliográficas 160
Anexo 167

Introducción

La creciente demanda de energía y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado a muchos países a considerar alternativas sostenibles para su matriz energética. Colombia, con su diversidad geográfica y condiciones climáticas favorables, posee un potencial significativo para el desarrollo de la energía eólica. Sin embargo, la implementación de parques eólicos en el país enfrenta diversos desafíos, incluyendo la falta de metodologías optimizadas para el diseño de las plataformas de aerogeneradores y sus carreteras.

Actualmente, la matriz energética colombiana depende en gran medida de la energía hidroeléctrica, lo que genera una vulnerabilidad significativa ante variaciones climáticas. Esta dependencia subraya la necesidad de diversificar las fuentes de energía y de promover el desarrollo de energías renovables no convencionales, como la eólica. El desarrollo de la energía eólica no solo contribuiría a la sostenibilidad ambiental, sino que también fortalecería la seguridad energética del país.

El diseño adecuado de las plataformas de aerogeneradores y las carreteras necesarias para su instalación y mantenimiento es crucial para la viabilidad de los parques eólicos. Factores como la topografía del terreno, las condiciones geoespaciales y la logística de transporte interno de los componentes del aerogenerador deben ser considerados meticulosamente. La optimización de estos aspectos puede reducir costos, mejorar la eficiencia y minimizar el impacto ambiental.

En respuesta a estos desafíos, esta monografía propone optimizar las metodologías de diseño de plataformas de aerogeneradores y sus carreteras en el contexto colombiano. La implementación de tecnologías avanzadas, como el Building Information Modeling (BIM), permite un análisis detallado y preciso del terreno, facilitando la planificación y ejecución de

proyectos eólicos. La monografía se desarrolla en tres capítulos, cada uno alineado con un objetivo específico:

Determinación de los parámetros de ubicación para la construcción de parques eólicos: En este capítulo se analizan los criterios y parámetros esenciales que deben considerar los diseñadores civiles para evaluar la idoneidad de las ubicaciones propuestas para la construcción de parques eólicos en Colombia.

Detalle de los datos geoespaciales e iniciales necesarios para el diseño de plataformas de aerogeneradores y de sus carreteras: En este capítulo se analizan y presentan los datos técnicos y geoespaciales fundamentales que deben considerarse como base para avanzar hacia la fase de diseño de las plataformas de los aerogeneradores y sus carreteras.

Implementación de la metodología BIM como herramienta para el modelado y análisis del terreno: Este capítulo se centra en la utilización de la metodología BIM para desarrollar un diseño óptimo y eficiente de los proyectos eólicos, empleando diversas herramientas y software especializados.

En conclusión, con esta guía se busca proporcionar una herramienta integral que apoye a ingenieros, desarrolladores y planificadores en el desarrollo eficiente y sostenible de plataformas de aerogeneradores y carreteras de parques eólicos en Colombia. Al optimizar las metodologías de diseño, se espera superar las barreras actuales y fomentar el crecimiento de la energía eólica como una componente clave de la matriz energética del país.

Glosario de siglas

1. **ACC:** Nube de Construcción de Autodesk (Autodesk Construction Cloud).
2. **ANLA:** Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.
3. **ASCII:** Código Estándar Americano para el Intercambio de Información (American Standard Code for Information Interchange).
4. **AVT:** Ambiente Virtual de Trabajo.
5. **BIM:** Modelado de Información para la Construcción (Building Information Modeling).
6. **CAMACOL:** Cámara Colombiana de la Construcción.
7. **CDE:** Entorno Común de Datos (Common Data Environment).
8. **EIA:** Estudio de Impacto Ambiental.
9. **GIS:** Sistemas de Información Geográfica (Geographic Information Systems).
10. **GNSS:** Sistema Global de Navegación por Satélite (Global Navigation Satellite System).
11. **GWEC:** Consejo Mundial de Energía Eólica (Global Wind Energy Council).
12. **IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
13. **IGAC:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
14. **KML:** Lenguaje de Marcado Keyhole (Keyhole Markup Language).
15. **KMZ:** Lenguaje de Marcado Keyhole Comprimido (Keyhole Markup Language Zipped).
16. **LIDAR:** Detección y Medición de Luz (Light Detection and Ranging).
17. **MDE:** Modelo Digital de Elevación.
18. **MDT:** Modelo Digital de Terreno.
19. **UPME:** Unidad de Planeación Minero Energética.

Problema de Investigación

De acuerdo con el contexto ambiental, considerar las energías renovables no convencionales es una opción favorable para Colombia. Específicamente, la energía eólica se destaca como una solución viable, debido a que el país cuenta con un gran potencial para desarrollar proyectos a gran escala que sean capaces de producir energía asociada con el viento (Soto, 2016).

En Colombia actualmente "(…) la energía hidráulica tiene una participación de 69%, la térmica un poco más de 29% y las no convencionales (biomasa, solar y eólica) tan solo 2%" (Bohórquez, 2019). Uno de los principales retos a los que se enfrenta el país hoy en día es su alta dependencia de energía hidroeléctrica. "(…) A pesar de las ventajas que ofrece la generación hidroeléctrica, la dependencia de una sola fuente de generación deja al país expuesto a riesgos asociados a fenómenos climáticos" (Mora, 2019, p.4).

El desarrollo de la energía eólica en Colombia es insípido frente a la necesidad de innovar en la implementación de Energías Renovables no Convencionales, en el país solo existen dos parques eólicos debido a barreras que impiden o complican la viabilidad de estos proyectos (Soto, 2016).

"Entre estas barreras identificadas, se encuentran: la alta inversión inicial, el débil marco legal o la falta de políticas energéticas, la falta de incentivos financieros, la deficiente infraestructura, el rechazo cultural o la aceptación social y la información limitada del recurso viento disponible" (Guerrero, Vélez & Morales, 2019,

Aparte de las barreras anteriormente mencionadas, existe una barrera que influye de manera significativa en el desarrollo óptimo del estudio del impacto ambiental de parques eólicos en lo que corresponde a ingeniería civil. Esta barrera abarca el conocimiento del recurso, ya que como Soto (2016) afirma:

“No existe un mecanismo para brindar información pública suficiente de este recurso. Así mismo, no existen obligaciones por parte de quienes estudian estos recursos para compartir información como entidades como la UPME para plantear su adecuado aprovechamiento” (p.48).

Es allí donde esta guía juega un papel fundamental para optimizar las metodologías del diseño de plataformas de los aerogeneradores y de sus carreteras, lo cual incluirá especificaciones acerca de los terrenos con mayor factibilidad para trabajar, tipo de vehículo implementado para la transportación interna del aerogenerador y demás criterios de diseño.

Objetivos

Objetivo General

Optimizar la metodología de diseño de plataformas de aerogeneradores y de sus carreteras para parques eólicos en Colombia mediante la implementación de la metodología BIM.

Objetivos Específicos

1. Determinar los parámetros de ubicación para la construcción de parques eólicos.
2. Detallar los datos geoespaciales e iniciales necesarios para el diseño de plataformas de aerogeneradores y de sus carreteras.
3. Implementar la metodología BIM como herramienta para el modelado y análisis del terreno.

Marco conceptual

A continuación, se presenta una descripción de los términos principales utilizados a lo largo del documento, con excepción de aquellos que requieren una explicación detallada en cada capítulo, para asegurar una comprensión clara y minimizar las posibles diferencias conceptuales entre los lectores.

1. **Aerogenerador:** Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento (una fuente natural y renovable) en electricidad y cuanto más alto es el aerogenerador, más fuerte es el viento, ya que hay menos obstáculos en su camino. (Enel).
2. **Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA:** La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA es la encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible del País. (ANLA, 2011).
3. **AutoCAD Civil 3D:** AutoCAD Civil 3D es un software o programa, el cual permite llevar a cabo procesos de diseño y de documentación, en cuanto diferentes proyectos de ingeniería civil, los cuales pueden resistir flujos de trabajo en términos de BIM, es decir Building Information Modeling por sus siglas en inglés o Modelado de información de construcción. (Autodesk, 2020).
4. **BIM (Building Information Modeling):** BIM (Building Information Modeling) es el proceso holístico de creación y administración de la información de un activo construido. Basado en un modelo inteligente e impulsado por una plataforma en la nube, BIM integra datos estructurados y multidisciplinares para generar una representación digital de un activo durante todo su ciclo de vida, desde la planificación y el diseño hasta la construcción y las operaciones. (Autodesk, 2020).

5. **Carretera:** Infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma. (INVIAS, 2008, p. 269).
6. **Dato Geoespacial:** Es el registro digital con combinaciones de valores de atributos que lo hacen único e inconfundible respecto a otros datos geoespaciales y debe estar georreferenciado y contener un atributo que lo relacione con el tiempo para fines de comparación. Los datos geoespaciales deben someterse al cumplimiento de estándares de manera que faciliten su disponibilidad, acceso, interoperabilidad y uso en diferentes aplicaciones, asegurando de esta manera que los datos no terminen subutilizados o determinen que las bases de datos que los almacenan sean de utilidad restringida. (IDECA).
7. **Estudio de Impacto Ambiental (EIA):** El estudio de impacto ambiental es el instrumento básico para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades que requieren licencia ambiental y se exigirá en todos los casos en que se requiera licencia ambiental de acuerdo con la ley y este reglamento. (ANLA).
8. **Energías Renovables no Convencionales:** Las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. (Ministerio de Minas y Energía, 2014).
9. **Geología:** El campo de la Geología engloba el estudio de la composición, estructura, propiedades físicas, dinámica e historia de los materiales terrestres, así como los procesos que producen cambios en su forma y composición. (Sociedad Geológica de España, 2020).

10. **Georreferenciación:** La georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. La capacidad de localizar de manera precisa las entidades geográficas es fundamental tanto en la representación cartográfica como en SIG. (ArcGIS).
11. **Geotecnia:** La geotecnia investiga los materiales que componen la corteza terrestre para el diseño de las obras de Ingeniería Civil. El objetivo principal de la geotecnia es el estudio del comportamiento de los diferentes suelos ante procesos de construcción y de Ingeniería Civil, se enfoca en la composición y en las propiedades de los suelos y cómo reaccionan éstos a diferentes factores que pueden incidir para prevenir un colapso o deslizamiento de tierra. (Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, 2022).
12. **Hidrología:** Ciencia que estudia las aguas terrestres, su origen, movimiento y distribución en nuestro planeta, propiedades físicas y químicas, interacción en el medio ambiente físico y biológico e influencia en las actividades humanas. (IDEAM).
13. **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM):** es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general. (IDEAM, 2023).
14. **Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC):** Somos la autoridad geográfica y catastral del país, esto quiere decir que somos los encargados de regular y ejecutar acciones

geográficas, cartográficas, agrológicas, geodésicas y catastrales para el desarrollo de nuestros territorios. (IGAC).

15. **Keyhole Markup Language (KML):** KML (conocido antiguamente como Keyhole Markup Language) es un formato de archivo basado en XML que se utiliza para visualizar información en un contexto geográfico. La información KML se puede dibujar en muchos navegadores basados en la tierra. (ArcGIS).
16. **Light Detection and Ranging (LIDAR):** LIDAR (light detection and ranging) es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo mediciones exactas de x, y y z. LIDAR, utilizado principalmente en aplicaciones de representación cartográfica láser aéreas, es una alternativa rentable a las técnicas topográficas tradicionales como fotogrametría. (ArcGIS).
17. **Meteorología:** Es la ciencia interdisciplinaria que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, los fenómenos allí producidos y las leyes que lo rigen. Es el estudio de los fenómenos atmosféricos y de los mecanismos que producen el tiempo, orientado a su predicción. (INEC, Panamá).
18. **Modelado:** Un modelo estructural es una representación simplificada de la estructura de un sistema u objeto, que se utiliza para analizar su comportamiento. Puede ser utilizado para estudiar la estabilidad, resistencia, flexibilidad, entre otros aspectos de la estructura. A menudo se utiliza en la construcción, la ingeniería mecánica y la física. Los modelos estructurales pueden ser analizados mediante cálculos matemáticos o simulaciones numéricas. Es importante tener en cuenta que un modelo estructural es solo una aproximación de la estructura real y puede no reflejar todas las características y detalles de la estructura real. (Ingernieríacivil.com).

19. **Modelo Digital de Elevación (MDE):** Un modelo digital de elevaciones es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. (Felicísimo, p.2).
20. **Modelo Digital de Terreno (MDT):** Representación cuantitativa y continua de la distribución espacial de las alturas del terreno, contiene información acerca de la posición horizontal y altura de los elementos de la superficie terrestre. La denominación MDT (Modelos Digitales de Terreno) en la genérica para todos los modelos digitales, incluyendo los DEM (Modelos digitales de Terreno) en los cuales la altura se refiere a la elevación sobre el nivel medio del mar. (IDECA).
21. **Navisworks:** Navisworks es un producto de revisión de diseños 3D de Autodesk. Se utiliza principalmente en sectores de la construcción para complementar los paquetes de diseño 3D (como Autodesk Revit, AutoCAD y MicroStation) Navisworks permite a los usuarios abrir y combinar modelos 3D, navegar por ellos en tiempo real y revisar el modelo mediante un conjunto de herramientas que incluye comentarios, anotaciones, puntos de vista y medidas. Una selección de módulos de extensión mejora el paquete, añadiendo detección de interferencias, simulación de tiempo en 4D, renderización fotorrealista y publicación en formato PDF. (Autodesk, 2023).
22. **Parque Eólico:** Un parque eólico es un lugar dedicado a la generación de energía eólica. Consiste en un grupo de aerogeneradores con tamaños que van desde los 600 kW hasta los 5 MW, colocados en el territorio para aprovechar al máximo el viento del lugar. Existen tres tipos de parques eólicos: los parques eólicos on-shore (en tierra, a por lo menos 3 km de la costa), que son los más comunes, mientras que los parques eólicos near-shore (a menos de 3 km de la costa) y off-shore (en mar abierto o en lagos, a varias millas de la costa) son menos

comunes y se encuentran en lugares donde la presencia de los parques eólicos no constituye un obstáculo para las actividades preexistentes o para las rutas de navegación importantes. (Enel).

23. **Plataforma de aerogenerador:** Por «plataforma de aerogenerador» se entiende tanto las plataformas de grúa como los soportes rígidos, donde (i) «plataformas de grúa» se refiere a una zona de soporte rígido en relación con el montaje o servicio de un aerogenerador y (ii) «soportes rígidos» se refiere a cualquier zona en la que se almacenen, coloquen o aparquen componentes de aerogeneradores, equipos de aerogeneradores, equipos de transporte o equipos de almacenamiento, incluidas zonas de aparcamiento, zonas de descanso y otras zonas de trabajo similares. (Dictionary Law Insider)
24. **Orografía:** La orografía es la forma que tienen las cordilleras, montañas y la diversidad de relieve que existen, es necesario el estudio de la orografía antes de iniciar la construcción de una estructura ya sea en una Montañana, en una zona accidentada, dado que la orografía genera los datos necesarios a considerar antes de iniciar dicha construcción, sobre todo de vías, carreteras, ferrocarriles, ya que estos pasan por montañas, y todo tipo de relieves. (Quispe, 2020, p.5).
25. **Topografía:** La topografía se encarga de estudiar la superficie del suelo, analizando cómo cambia la geografía para realizar mapas topográficos. Y es que, ¿alguna vez has visto un mapa en relieve y te has preguntado cómo puede ser tan exacto? Pues bien, la respuesta reside en la topografía. Esta ciencia estudia la superficie terrestre incluyendo desde montañas hasta ríos y accidentes geográficos. (Escuela Postgrado de Ingeniería y Arquitectura, 2022).

Capítulo 1: Determinar los Parámetros de Ubicación para la Construcción de Parques Eólicos

Como punto de partida en el desarrollo de la monografía titulada " Guía de Procedimiento para la Optimización Metodológica del Diseño de Plataformas de Aerogeneradores para Parques Eólicos y sus Carreteras", este primer capítulo establece los parámetros de ubicación para la construcción de parques eólicos. Seguidamente, se detallarán los datos geoespaciales e iniciales necesarios para el diseño de las plataformas de aerogeneradores y sus carreteras en el segundo capítulo. Finalmente, se implementará la metodología BIM como herramienta para el modelado y análisis del terreno, con el objetivo de optimizar la metodología de diseño de las plataformas de aerogeneradores y sus carreteras.

En este capítulo se abordan aspectos que, aunque en su mayoría están fuera del alcance del diseñador civil, es crucial resaltar la posibilidad de sobrecostos y la necesidad de una ingeniería más compleja si el proyecto no considera estos aspectos.

Inicialmente, antes de adentrarse en el diseño y la planificación, es esencial comprender previamente el marco legal que define los requisitos en la elaboración del estudio de impacto ambiental. Este conocimiento completo es necesario para obtener la aprobación requerida para la ejecución de Parques Eólicos en Colombia. Estos requisitos están establecidos en la Resolución 1312 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en donde los requerimientos se titulan como: "Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) en proyectos de energía eólica continental".

Siguiendo lo expuesto, es crucial destacar que el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) constituye una parte integral de la fase de prefactibilidad del proyecto. Esta fase es el enfoque central de esta monografía en el contexto de la ingeniería civil y su alcance en esta etapa. Es a

través de los requerimientos anteriormente mencionados contenidos en dicha resolución, que el ingeniero civil puede comprender plenamente las responsabilidades que debe asumir durante la fase de prefactibilidad.

Una vez comprendido lo anterior, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) solicita presentar de manera esquemática la localización geográfica y político administrativa a nivel departamental, municipal y corregimental, en los casos que aplique. Es vital conocer que, la aprobación del desarrollo del parque eólico depende del ANLA quien se encarga de que este tipo de proyectos y muchos otros, cumplan con la normativa ambiental garantizando que contribuyan al desarrollo sostenible del país.

De acuerdo con lo anterior, es fundamental comprender la forma en que se requiere presentar la localización geográfica del proyecto según las directrices establecidas por el ANLA:

"Localizar el proyecto en un mapa georreferenciado en coordenadas planas (datum magna sirgas) a escala 1:25.000 o más detallada, que permita la adecuada lectura de la información, cumpliendo con los estándares de cartografía base del IGAC, así como los catálogos de objetos" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p.19).

Retomando el enfoque de este primer capítulo, cuyo propósito radica en establecer los parámetros de ubicación para la construcción de parques eólicos, se destaca que el ANLA solicita un análisis detallado de estos parámetros a las empresas interesadas en desarrollar tales proyectos. Es en este proceso donde, tras la revisión de los "Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en Proyectos de Uso de Energía Eólica Continental" y la consulta de la investigación académica pertinente, se identifican los siguientes aspectos mínimos a considerar para la ubicación de los aerogeneradores: Topografía, Accesibilidad, Geotecnia, Geología, Hidrología, Meteorología (incluyendo variables como

Temperatura, Viento, Humedad y Precipitaciones), Biodiversidad y Condiciones Sociales. A pesar de que la preeminencia recae en la evaluación del recurso eólico, la orografía y otros factores ambientales no deben subestimarse, ya que desempeñan un papel fundamental en la viabilidad general del proyecto.

Establecer los parámetros de ubicación para la construcción de parques eólicos implica abordar cada aspecto desde un análisis tanto legal como teórico, lo que permite comprender su importancia y proporcionar un contexto técnico, ambiental y social necesario para la ejecución de estos proyectos.

De acuerdo con lo anterior, el primer parámetro de ubicación a presentar es la Topografía, en donde es vital reconocer que un terreno topográficamente complejo podría obstaculizar el cumplimiento de los requisitos establecidos por el proveedor de aerogeneradores, especialmente en lo que respecta al transporte de estos.

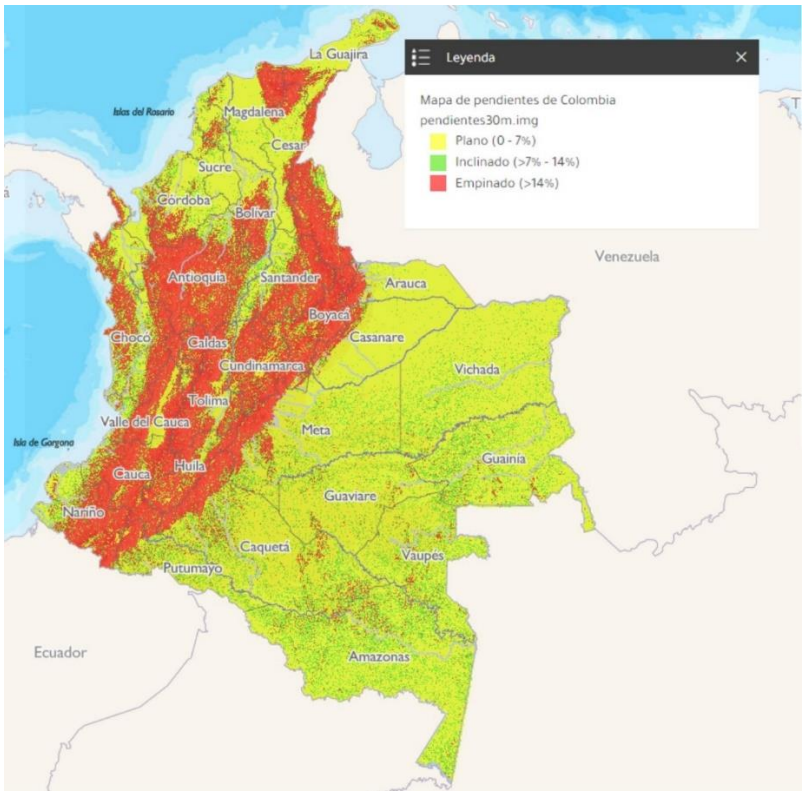
Topografía

Para comenzar a abordar la Topografía como un factor determinante en la ubicación de los parques eólicos, es fundamental comprender que el diseño civil de las plataformas y las carreteras se genera basado en el tipo de aerogenerador a implementar en el parque eólico, según esto, resulta primordial para la mayoría de proveedores que el diseño de las carreteras para el acceso en el proyecto hasta los puntos de instalación de los aerogeneradores contemple pendientes de máximo ocho por ciento (8%), lo que se espera permita un diseño cómodo, económico y eficiente en termino de movimiento de tierras, por lo cual se debería priorizar la ubicación del proyecto en un tipo de terreno montañoso o de menor pendiente según las definiciones estipuladas por el “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras”. Para el caso de las

plataformas se debe tener en cuenta que estas requieren pendientes más bajas, siendo menores de tres por ciento (3%), los cuales son terrenos denominados por el manual como terrenos planos.

De acuerdo con en estas especificaciones, se inicia la identificación de áreas del proyecto que podrían presentar complicaciones tanto en la construcción de las carreteras de acceso, como en los sitios de instalación de los aerogeneradores que requerirán plataformas para las grúas. Respecto al último aspecto mencionado, la identificación de las áreas adquiere una relevancia superior en cuanto a la exigencia de pendientes más moderadas y menor flexibilidad en términos de diseño debido a la extensión espacial que las grúas abarcan. La identificación de las pendientes que el país posee en general se facilita a través de la interpretación del siguiente mapa:

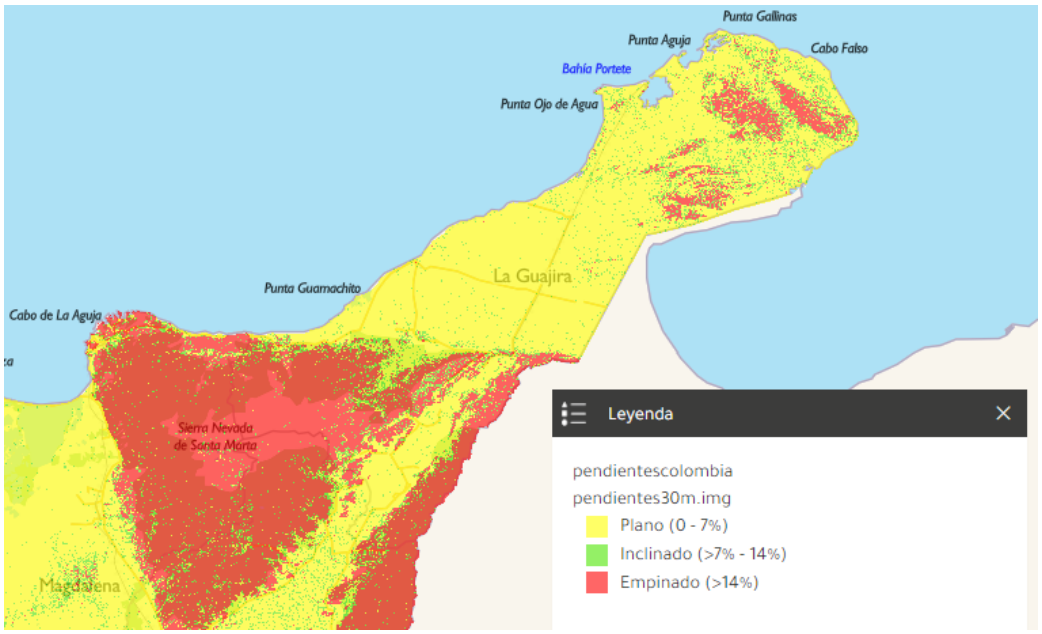
Imagen 1. Mapa de pendientes de Colombia.



Fuente: IGAC (www.colombiaenmapas.gov.co/#)

En el mapa de pendientes de Colombia, obtenido a través de la plataforma del IGAC, se destacan las pendientes predominantes en cada región del país. Al analizar el mapa, se puede observar que la Guajira mayormente presenta terrenos con pendientes entre 0% y 7%, lo que lo convierte en un lugar ideal para ubicar parques eólicos. Sin embargo, es importante considerar que el tipo de terreno no solo afecta la ubicación del proyecto, sino también el acceso para los vehículos que transportarán los aerogeneradores. Este aspecto puede ser crítico, especialmente en el caso de la Guajira, si el ingreso de estos vehículos se realiza por el sur del departamento, debido a la presencia de la Sierra Nevada de Santa Marta, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

Imagen 2. Mapa de pendientes de Colombia (Zoom en el departamento de La Guajira).



Fuente: IGAC (www.colombiaenmapas.gov.co/#)

Basándonos en el mapa de pendientes de Colombia, que proporciona detalles específicos del departamento de La Guajira, es más fácil identificar las zonas con menor pendiente en esta ubicación. Dado el historial de proyectos de energía eólica en el país, estas áreas suelen cumplir

con los requisitos para un óptimo desarrollo del proyecto. Por lo tanto, es crucial analizar especialmente las pendientes en esta región.

Una vez entendida la importancia de la Topografía como un factor determinante en la ubicación de los parques eólicos, se procede con el siguiente parámetro, que es la accesibilidad.

Accesibilidad

La accesibilidad como parámetro de ubicación de un parque eólico, se refiere a la facilidad con la que se puede acceder al sitio donde se planea construir el parque. Esto incluye consideraciones sobre la infraestructura de transporte disponible, como carreteras y vías de acceso, así como la distancia y el tiempo requerido para transportar equipos, materiales y personal al lugar del proyecto. Además, se evalúa la capacidad de las vías de acceso para soportar el tráfico pesado y los vehículos necesarios para la construcción y el mantenimiento del parque eólico. Una buena accesibilidad es crucial para garantizar un desarrollo eficiente y rentable del proyecto.

Teniendo en cuenta que se deben importar los elementos principales de los aerogeneradores para el desarrollo de los parques eólicos, es necesario identificar los puertos habilitados para la llegada de este tipo de insumos.

Siendo la Guajira el departamento con mayor potencial para el desarrollo de energía renovable, especialmente en parques eólicos, es prioritario identificar los puertos habilitados para recibir equipos de gran tamaño como turbinas, palas y torres de aerogeneradores. Según el artículo basado en una entrevista durante el evento "Latam Future Energy Colombia", los directores de logística José Antonio Moreno y Juan Alonso Checa (2021) resaltaron que "(…) uno de los problemas del departamento es que, de los dos puertos habilitados, ambos en manos

de empresas privadas, solo el Puerto Brisa es capaz de recibir equipos extradimensionados (turbinas, palas, torres)" (Energía Estratégica, 2021).

De acuerdo con lo anterior, en términos de diseño civil de las carreteras y plataformas de los aerogeneradores, es esencial considerar el trayecto desde el Puerto Brisa hasta la ubicación del parque eólico, evaluando diversas opciones para garantizar el transporte exitoso de los elementos principales de los aerogeneradores de principio a fin.

Geotecnia

El estudio geotécnico es fundamental a la hora de iniciar un proyecto eólico y su exigencia tiende a aumentar con el paso de los años, como lo explican Apcarian & Lässig (2012):

“La tendencia en el mercado eólico es construir turbinas eólicas cada vez más potentes. Dado que el incremento de la potencia trae aparejado el aumento del diámetro del rotor, esta tendencia conlleva al rediseño de muchos de los componentes mecánicos y estructurales del aerogenerador. En el caso de las torres, se requiere mayor altura y capacidad portante. El aumento de tamaño de la estructura incrementa los costos de la misma y la complejidad de su traslado, montaje y mantenimiento. Estas limitaciones económicas y tecnológicas constituyen condiciones de borde para las variables involucradas en el diseño estructural” (p. 1).

Basándonos en lo mencionado anteriormente, la aparición de variables en el diseño estructural subraya la importancia crucial de una metodología geotécnica adecuada para el éxito del proyecto. Dado que las cargas que el suelo deberá soportar serán significativas, la geotecnia garantizará la durabilidad y estabilidad tanto de los aerogeneradores como de sus carreteras asociadas.

En virtud de ello, recae en este proceso la esencial caracterización de las presiones admisibles que el suelo puede soportar. Este factor resulta imperativo para la concepción de corredores que

sean idóneos para el transporte de aerogeneradores y su subsiguiente instalación. Además, mediante este enfoque metodológico, se posibilita la obtención de un diseño preciso que debe seguir la configuración de los taludes en las diversas zonas del emplazamiento. Este riguroso estudio geotécnico se erige como un pilar determinante para asegurar la integridad y eficacia del proyecto en su totalidad, como lo resaltan Galán G. & Montes D. (2019):

"Previamente al desarrollo de los ensayos o reconocimientos de campo es necesario establecer un modelo geológico. Su objetivo es marcar las líneas maestras del escenario geológico donde se prevé el emplazamiento del proyecto. Resulta prioritaria la clasificación de las distintas unidades geológicas en grupos de comportamiento homogéneo que sirva de modelo para proponer los tipos de ensayos y su distribución. Esto que en principio parece irrelevante debe guiar el resto del desarrollo de las investigaciones y del propio estudio geotécnico" (p. 1).

En lo que concierne al diseño civil de las plataformas y sus carreteras para la prefactibilidad del proyecto eólico estudiado en esta monografía, se deben resaltar como datos fundamentales las geometrías recomendadas para los taludes según el tipo de intervención en los diferentes sectores afectados por la obra civil, es decir, las carreteras de acceso y conexión entre aerogeneradores, y las plataformas de montaje, el tipo de talud a tener en cuenta puede ser de excavación temporal, corte y relleno, identificando la altura máxima, la altura de los bancos, su pendiente y la longitud de la berma.

Geología

En el contexto del desarrollo de un parque eólico, permite determinar la viabilidad técnica y económica del proyecto, ya que puede influir en la selección del tipo de cimentación de los aerogeneradores, el diseño de la infraestructura de soporte y la planificación del acceso al sitio. Además, la geología también puede afectar la eficiencia y la seguridad de la operación del

parque eólico a lo largo de su vida útil, por lo que es crucial realizar estudios geológicos detallados durante la fase de prefactibilidad y ubicación del proyecto.

Frente a estos requerimientos nuevamente el ANLA establece a través de los términos de referencia, ciertos entregables que son necesarios para obtener la aprobación del desarrollo óptimo parque eólico. Para el ANLA es fundamental recibir:

"La cartografía geológica general ajustada el proyecto con foto interpretación y control de campo; se debe describir las unidades geológicas aflorantes a nivel regional junto con la geología estructural del área (orientación de estratos, fallas, pliegues, columna estratigráfica, etc.). La información específica relacionada con las unidades gráficas y los rasgos estructurales, debe ser soportada mediante perfiles estratigráficos determinados a partir de observaciones directas que cuenten con su respectivo registro fotográfico debidamente datado, identificado y georreferenciado" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p.32).

El encargado del estudio debe complementar la información anterior mediante la elaboración de planos en planta y sección transversal, que incluyan la cartografía de elementos geológicos a nivel regional. Esta cartografía servirá como insumo esencial para la elaboración de modelos geotécnicos, hidrogeológicos y sismotectónicos.

Es necesario ajustar esta información utilizando técnicas disponibles y asegurarse de que sea coherente con la nomenclatura geológica nacional establecida por el Servicio Geológico Colombiano, así como con la utilizada en los dominios de la Base de Datos Geológicos. Los planos deben elaborarse a una escala de 1:25.000 o mayor, de acuerdo con el área del proyecto.

A lo largo de este primer capítulo de la monografía, se ha destacado que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible elaboró los términos de referencia para el estudio de impacto ambiental en parques eólicos. Estos términos incluyen especificaciones detalladas sobre los

requisitos geomorfológicos que el proyecto debe cumplir. Por lo tanto, se sugiere una revisión exhaustiva de estos términos de referencia para comprender con precisión los parámetros y requisitos establecidos.

Hidrología

Desde la perspectiva del diseñador civil, el estudio hidrológico emerge como un factor de gran relevancia, dado que el diseño de las obras de drenaje debe adaptarse a los cuerpos de agua preexistentes en el entorno, tal como se alude en el siguiente fragmento:

"Como se ha comentado anteriormente, la necesidad de disponer obras de drenaje transversal (ODTs) viene motivada en nuestro caso por la detección de líneas preferentes de flujo de escorrentía sobre el terreno, dando lugar a la formación de cuencas principales que deben desaguar directamente a estas obras de drenaje" (López, 2023, p.24)

En cuanto al ámbito hidrológico el ANLA establece términos específicos, en el contexto de esta monografía, lo que el diseñador civil debe tener en cuenta como términos más relevantes son los siguientes:

1. Localización de las cuencas hidrográficas existentes dentro del área de influencia del componente, incluyendo zonas de descarga, así como los sistemas lenticos y loticos identificados.
2. Se deben considerar las principales características de las interacciones existentes entre agua superficial y agua subterránea, así como entre los sistemas lentico y lótico, incluyendo aspectos como caudales, sedimentos, recursos hidrobiológicos e ícticos.

El primer aspecto mencionado es fundamental, ya que la localización precisa de las cuencas hidrográficas es crucial para diseñar adecuadamente el trazado de las carreteras internas del

parque eólico. De esta manera, se busca minimizar la intervención en las cuencas y gestionar de manera efectiva el recurso hídrico.

Meteorología

Este aspecto implica evaluar las condiciones climáticas del sitio propuesto, incluyendo la velocidad y dirección del viento, la variabilidad estacional, la frecuencia y severidad de eventos climáticos extremos, y la disponibilidad de recursos eólicos. Estos datos son esenciales para determinar la viabilidad técnica y económica del proyecto, ya que influyen en la selección de los aerogeneradores más adecuados, el diseño de la disposición del parque y la estimación de la producción de energía esperada.

En el ámbito meteorológico, el ANLA solicita de manera puntual que se reconozcan las diferentes variables meteorológicas del lugar de ubicación del proyecto y los entregables contengan lo siguiente:

"Identificación, zonificación y descripción de las condiciones meteorológicas medias y extremas mensuales multianuales del área, con base en la información de las estaciones meteorológicas del IDEAM y de otras entidades registradas en los catálogos nacionales de estaciones meteorológicas, existentes en la región y representativas de la zona de estudio, analizando como mínimo tres años de información de la zona" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p.40).

Seguido de ello, dentro de los requerimientos se pueden conocer los parámetros mínimos de análisis según en ANLA:

1. Temperatura superficial promedio, máxima y mínima diaria registrada.
2. Presión atmosférica promedio mensual (mb).
3. Precipitación media diaria, mensual y anual.

4. Humedad relativa media, máxima y mínima mensual.
5. Viento.
6. Radiación solar.
7. Nubosidad.

Algunos detalles puntuales de estos parámetros que se específica dentro de los términos de referencia, son descritos más adelante según corresponda.

Los requerimientos que solicita el ANLA en el ámbito meteorológico son importantes como se ha mencionado anteriormente, para obtener los permisos ambientales para ejecutar el parque eólico de manera satisfactoria. Por otro lado, las condiciones meteorológicas son críticas para optimizar la eficiencia y la rentabilidad de un parque eólico. Un entendimiento detallado de los patrones de viento y otras variables climáticas ayuda a diseñar, construir y operar estos proyectos de manera efectiva.

De acuerdo con lo anterior, a continuación se describirán los factores meteorológicos que influyen significativamente al momento de determinar la ubicación del parque eólico.

Temperatura

En Colombia, afortunadamente, este factor no experimenta variaciones tan pronunciadas como en otros países, donde se enfrentan cambios drásticos debido a las estaciones. La influencia de este factor se centra mayormente en el funcionamiento de la turbina. "(…) La turbina puede funcionar en sitios con temperaturas promedio en un rango de clima normal e incluso a temperaturas tan bajas como -20 grados centígrados" (Arcilla & Ricardo, 2019, p. 277).

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que la turbina no se vería afectada por los cambios de temperatura en el ambiente. Por otro lado, respecto a la influencia de la temperatura en la velocidad y densidad del viento, se conoce que:

"Cuando las temperaturas de regiones adyacentes difieren, el aire frío por ser más denso tiende a descender en dirección a la masa de aire cálido, y ésta a su vez, por ser menos densa ascenderá; por lo tanto, se genera la circulación de las masas de aire, fenómeno llamado viento" (Arcilla & Ricardo, 2019, p. 9).

En resumen, las variaciones de temperatura entre regiones cercanas inducen cambios en la densidad del aire, generando movimientos tanto verticales como horizontales. De manera más concisa, un aumento en la temperatura favorece mayores velocidades de viento gracias al fenómeno de circulación atmosférica. En consecuencia, sería propicio considerar una ubicación para el Parque Eólico que favorezca un entorno cálido.

Viento

Se conoce que la cantidad de energía que puede generar una turbina eólica está directamente relacionada con la velocidad del viento. A mayor velocidad, las palas de la turbina capturan más energía cinética, lo que se traduce en una mayor producción de electricidad.

De acuerdo con lo anterior, el viento es el principal factor influyente para la ubicación estratégica del parque eólico. En Colombia, se consultó acerca del potencial que posee el país en cuanto a velocidad del viento y se pudo evidenciar lo siguiente:

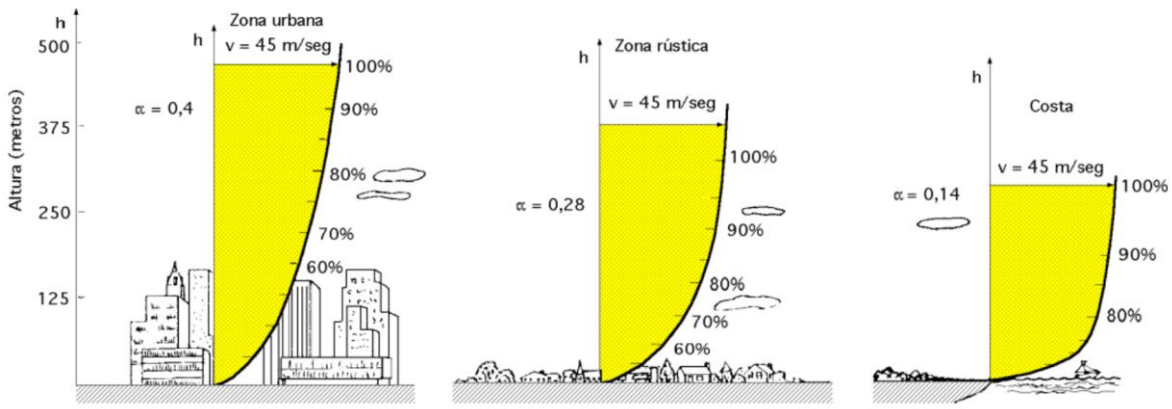
"El análisis espacial mostro que algunas zonas de Colombia hay vientos con velocidades iguales o superiores a 5 m/s y persistentes a lo largo del año. Por lo tanto, podemos decir que existe un buen potencial de energía eólica a lo largo de la península de La Guajira, Isla de San Andrés, Boyacá y en Bolívar" (Arcilla & Ricardo, 2019, p. 27).

Como menciona anteriormente, para planificar el diseño del parque eólico, es fundamental conocer la dirección predominante del viento y la intensidad con la que este sopla. Para lograrlo, se puede emplear la rosa de vientos proporcionada por el IDEAM, la cual facilita la información

sobre la dirección principal del viento en la ubicación específica donde se pretende llevar a cabo el proyecto. En Colombia, apoyarse de los datos abiertos que proporciona el IDEAM es fundamental, ya que, "(…) se puede evidenciar información de velocidades de viento de estaciones meteorológicas ubicadas en todo el territorio colombiano, las cuales se encuentran clasificadas por fecha, nombre de estación, municipio y tiene información de las coordenadas en la que se encuentra ubicada" (Albor, 2022, p. 16).

"Un adecuado modelamiento del flujo de viento en la zona permite ubicar los aerogeneradores, en las coordenadas de mayor producción energética, a su vez permite analizar variables topográficas del terreno, que determinaran si es posible la instalación de un proyecto eólico en la zona" (González, 2019, p. 27).

Imagen 3. Diferentes perfiles de la velocidad del viento según el emplazamiento.



Fuente: González, 2019, p. 17.

Teniendo claro el concepto acerca del funcionamiento del viento y la trascendencia que posee en un proyecto eólico, el ANLA solicita para el caso de los vientos lo siguiente:

"Para el caso de los vientos se debe incluir aspectos de dirección, velocidad y frecuencias con las que se presentan, elaborando la rosa de los vientos diurna y nocturna, así como una tabla de variabilidad en la velocidad de estos, la cual tiene como finalidad indicar el comportamiento de

los vientos en una jornada de 24 horas para un periodo específico (mensual o anual)" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p.41).

Humedad

La humedad de un lugar se define como la cantidad de vapor de agua presente en el aire y puede tener diversos impactos en el clima. Sin embargo, en lo que respecta al diseño de un parque eólico, su influencia puede considerarse insignificante en lugares donde, a pesar de la humedad, la velocidad del viento permanece constante.

Para evaluar el impacto de la humedad en el óptimo funcionamiento del parque eólico, es esencial considerar su influencia en diversos aspectos, siendo el suelo el factor más relevante en este contexto. De acuerdo con el dato suministrado a continuación, se puede determinar que la humedad incide directamente en el ámbito eléctrico: "(...) la resistividad térmica del terreno es de 0,5 K.m/W, muy húmedo" (Arcilla & Ricardo, 2019, p.136). Esta observación subraya la influencia de la humedad en la resistividad térmica, un aspecto crucial que el diseñador eléctrico del parque eólico debe tener en cuenta.

En este contexto, la humedad se convierte en un factor que normalmente influye en el diseño de cualquier obra vial y excavación significativa para proporcionar una carretera y una plataforma estables para el parque eólico.

Precipitaciones

Este aspecto es fundamental en la planificación del diseño carreteras de acceso a los aerogeneradores, dado que su diseño debe asegurar un drenaje eficaz para hacer frente a las precipitaciones, considerando la ubicación del proyecto.

No solo es crucial considerar las precipitaciones y su impacto directo en el diseño de las plataformas de los aerogeneradores y sus carreteras, sino que también es necesario tener en

cuenta otros aspectos, como las posibles inundaciones provenientes de fuentes hídricas cercanas al parque. En este sentido, el ANLA especifica la necesidad de la (…) "identificación de la dinámica fluvial de las fuentes que pueden ser afectadas por el proyecto, así como las posibles alteraciones de su régimen natural en relación con las inundaciones temporales y espaciales" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p. 35).

Biodiversidad y Conservación

Es claro que, el objetivo primordial de ejecutar proyectos como Parques Eólicos es contribuir al desarrollo sostenible del país. Es por ello, que se deben tener en cuenta todos los aspectos a nivel ambiental que puedan ser vulnerados, como por ejemplo si "(...) la vegetación se ve afectada en la etapa preoperacional por las labores de desbroce y retirada de la cubierta vegetal y por la ocupación física del terreno con la construcción de plataformas, caminos de acceso y edificios auxiliares" (Molina J. & Tudela M., 2008, p. 175).

De acuerdo con lo anterior, la identificación precisa de la flora y fauna en la zona de ejecución de un proyecto, especialmente en el contexto de un parque eólico, reviste una importancia fundamental. Este proceso, orientado hacia un análisis exhaustivo del entorno biológico, contribuye significativamente a la planificación y ejecución responsables de dichos proyectos, para este aspecto el ANLA solicita construir el mapa respectivo:

"Donde se identifiquen y delimiten los ecosistemas naturales y transformados presentes en el área de influencia y delimiten los ecosistemas naturales y transformados presentes en el área de influencia de los componentes del medio biótico, incluyendo los ecosistemas acuáticos. En el mapa de ecosistemas se debe incluir la ubicación y georreferenciación de los puntos de muestreo o monitoreo para cada componente o grupo de componentes" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p. 49).

Además, el ANLA presenta en una serie de incisos requerimientos para el reconocimiento específico de la fauna y flora terrestre. En resumen, se pueden destacar los siguientes puntos:

1. Realizar un inventario de especies en donde se clasifiquen por separado, con su respectiva georreferenciación y en los casos que aplique, identificar las especies endémicas o en categorías de amenaza. Adicionalmente, se requiere que se detallen aspectos como la importancia económica, cultural o ecológica de las especies. Presentar lo anterior detallando los métodos, técnicas y periodicidad de los muestreos, acompañado de registros fotográficos.
2. Presentar un mapa de cobertura vegetal y uso actual del suelo, con la distribución de especies faunísticas.

En conclusión, en el ejercicio de la ingeniería civil para proyectos como parques eólicos, la identificación cuidadosa de la flora y fauna en la región de ejecución emerge como un componente crítico. En calidad de diseñador civil, el compromiso radica en la identificación de áreas protegidas, con el objetivo de mitigar al máximo, la planificación de corredores que intervengan estos enclaves ambientales sensibles. Este proceso no solo responde a requisitos normativos, también ejerce un papel crucial en la preservación de la biodiversidad y la minimización de impactos adversos.

Condiciones Sociales

Considerando el trasfondo histórico del país en cuanto al desarrollo de Parques Eólicos, particularmente en el departamento de La Guajira, se reconoce que estos proyectos no han sido bien recibidos por las comunidades. Según un artículo de la revista Cambio Colombia, los Wayúu expresan su descontento de la siguiente manera:

““Han ingresado a nuestras tierras, con permisos de personas a quienes no reconocemos como nuestras autoridades, para explotar nuestros territorios sin nuestros permisos y, de paso,

acabar con nuestras tierras", dice Abraham Segundo, autoridad Wayúu, uno de los principales líderes de Ipapure, pueblo limítrofe con Venezuela". (Fitzgerald M., 2023).

Estas afirmaciones confirman la postura adversa de las comunidades de la Guajira hacia el desarrollo de parques eólicos en su territorio, lo que ha desencadenado conflictos y retrasos en diversas etapas de los proyectos. A pesar de la resistencia de las comunidades, detener el avance de estos proyectos a gran escala no se considera una opción viable, ya que el departamento de La Guajira ha experimentado un crecimiento significativo en la implementación de proyectos eólicos "(…) proyectándose la construcción de más de 50 parque eólicos que tendrían una capacidad de 6.862 MW" (Baquedano, 2022). (…) "Estos proyectos han suscitado una considerable expectativa en cuanto a la transición energética en el país" (Hurtado M., 2023, p. 12).

Debido a ello, la relevancia del involucramiento efectivo de las comunidades en la ejecución de proyectos de esta envergadura no puede subestimarse. La colaboración estrecha con las comunidades locales no solo es un imperativo ético, sino también un factor crítico para el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de un proyecto de parque eólico.

En primer lugar, la interacción temprana y continua con las comunidades permite una comprensión más profunda de sus necesidades, preocupaciones y valores. Esto facilita la identificación de posibles impactos socioeconómicos, culturales y ambientales, permitiendo la implementación de medidas de mitigación y el diseño de estrategias que promuevan el beneficio mutuo, como lo solicita el ANLA "(…) la caracterización del medio socioeconómico debe hacerse con base en información cuantitativa y cualitativa, y su análisis debe permitir dimensionar los impactos que el proyecto puede ocasionar en cada uno de sus componentes" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p. 54).

Asimismo, la participación de las comunidades contribuye a construir un sentido de pertenencia sobre el proyecto. Al incluir a los residentes locales en el proceso de decisión y proporcionar canales efectivos de comunicación, se fomenta la aceptación del proyecto y se reducen los impactos negativos, frente a esto el ANLA indica que:

"Durante el proceso de participación y socialización con las comunidades se debe garantizar los siguientes propósitos:

1. Socializar la información relacionada con las características técnicas, actividades y alcance tanto del proyecto como del EIA a desarrollar.
2. Generar espacios de participación durante la elaboración del EIA.
3. Socializar los resultados del EIA, de manera previa a la radicación de este, y de la metodología definida por el solicitante" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p. 56).

En virtud de lo expuesto, se destaca que el diseñador civil del proyecto de parque eólico asume la responsabilidad integral de no solo abordar los aspectos técnicos del diseño, sino también de asegurar que la iniciativa redunde en beneficios tangibles y respete de manera plena a las comunidades locales. En el contexto de la presente investigación, cobra especial relevancia enfocar el diseño de las carreteras de manera que se evite afectar áreas protegidas o restringidas por la comunidad. Más aún, se busca optimizar el diseño orientándolo hacia la amigabilidad con el entorno, con el objetivo de beneficiar a las comunidades circundantes. Este enfoque meticuloso y orientado a la sostenibilidad constituye un elemento crucial para la realización exitosa y ética de proyectos de parques eólicos.

Capítulo 2: Detallar los Datos Geoespaciales e Iniciales Necesarios para el Diseño de Plataformas de Aerogeneradores y de sus Carreteras

Con base en lo expuesto en el primer capítulo de esta monografía, donde se determinaron los parámetros de ubicación para la construcción de parques eólicos, se establece el punto de partida para avanzar en el siguiente paso: detallar los datos geoespaciales e iniciales necesarios para el diseño de las plataformas de aerogeneradores y sus carreteras. Una vez seleccionada adecuadamente la ubicación de los aerogeneradores, estos datos permitirán un diseño preciso y eficiente.

La efectiva planificación y ejecución de parques eólicos requiere una profunda comprensión de las condiciones geoespaciales y datos iniciales esenciales que actúan como base para el diseño de infraestructuras críticas, como plataformas de aerogeneradores y sus carreteras asociadas. En este capítulo, se recopilan y detallan los datos geoespaciales necesarios para orientar el diseño estructural y logístico de estos elementos fundamentales.

Los datos geoespaciales se determinaron a través de la consulta de investigaciones académicas pertinentes y conforme a lo descrito en el primer capítulo de esta monografía, especialmente en lo referente al marco legal y teórico expuesto. Estos datos se agrupan en las siguientes categorías esenciales para el diseño: Topografía, Ubicación de los Aerogeneradores, Áreas Restringidas, Hidrografía y Geotecnia. Esta estructuración facilita un diseño preciso y fundamentado de las plataformas y carreteras necesarias para el parque eólico.

En cuanto a los datos iniciales, es fundamental entender que los fabricantes de aerogeneradores proporcionan las especificaciones técnicas necesarias para el diseño de las plataformas y carreteras asociadas. A partir de estas especificaciones, se debe realizar un diseño

que se ajuste al tipo de aerogenerador seleccionado para el proyecto. A lo largo de este capítulo, se detallarán los datos iniciales mínimos que deben considerarse.

Importación e Identificación de Puntos y Áreas de Trabajo

Desde la topografía del terreno hasta la evaluación de recursos naturales, se exploran las variables clave que influirán en la toma de decisiones y en la eficiencia de diseño durante las distintas etapas del proyecto, las cuales suelen estar ligadas al tipo de aerogenerador establecido para el proyecto.

Conforme al tipo de aerogenerador utilizado, se destaca que (…) "con el fin de permitir el acceso de los medios de transporte y montaje de los aerogeneradores al emplazamiento del parque, es necesario que los caminos de acceso estén diseñados de acuerdo con los requisitos geométricos y constructivos establecidos" (Gaudó Ester, Y., 2023, p. 51).

Por consiguiente, es imperativo contar con información clave en la fase de prefactibilidad del proyecto para llevar a cabo un diseño civil de las plataformas y carreteras preciso. A continuación, exploraremos los tipos de datos esenciales necesarios para este propósito.

Topografía

Como se mencionó en el primer capítulo de esta monografía, la topografía es fundamental para el desarrollo de un parque eólico. Por lo tanto, una vez seleccionada la ubicación del parque, se espera que los datos geoespaciales correspondientes sean precisos y completos.

La precisión de un levantamiento topográfico para un proyecto eólico depende de diversos factores, incluyendo el tamaño del proyecto, la complejidad del terreno y las especificaciones del diseño. (…) “La modelación física permite describir en forma acabada el flujo alrededor de zonas de topografía compleja, pero requiere de datos de campo que permitan deducir los valores de velocidad en los sitios que se analicen” (Cataldo, J. & Nunes, V., 2006, p. 1).

De acuerdo con lo anterior, se busca alcanzar una precisión que permita una planificación y ejecución del proyecto eficientes y seguras ya que esta topografía será la base de todo el proyecto. Estos datos pueden ser proporcionados de las siguientes maneras:

Tabla 1 - Datos topográficos, descripción y formato.

Tipo de dato	Descripción	Formato
Puntos topográficos	Se importan puntos de terreno recopilados a través de levantamientos topográficos convencionales y no convencionales, utilizando estaciones totales, GNSS, sistema LIDAR o fotogrametría. Estos puntos son esenciales para la creación de una superficie topográfica detallada.	.las ASCII Point File: .txt, .csv, .xlsx, .asc, .nez
Curvas de nivel	Las curvas de nivel representan líneas que conectan puntos de igual elevación en un terreno. Puede utilizar datos de curvas de nivel para generar una superficie tridimensional que represente la topografía del terreno.	.dwg .dxf
Datos de elevación en formato ráster	Es posible trabajar con datos rasterizados, como modelo digital de terreno (MDT) o modelo digital de elevación (MDE). Pueden proporcionar información detallada sobre la elevación del terreno.	.tiff .las ASCII Point File: .txt, .csv, .xlsx, .asc, .nez
Nubes de puntos	Cuando se utilizan tecnologías como el escaneo láser 3D, las nubes de puntos generadas pueden ser importadas en los softwares de diseño. Son especialmente útiles para capturar densidad de puntos y otras características del entorno.	.csv .txt Archivos de texto
Datos de importación de otros formatos	Dependiendo del software usado se tendrá como compatible la importación de datos en diversos formatos, como archivos de intercambio de datos geoespaciales,	ASCII Point File: .txt, .csv, .xlsx, .asc, .nez CityGML: .gml, .xml, .gz Esri ArcInfo Coverage ESRI Shapefile: .shp

	archivos de texto, archivos de Excel, entre otros.	Google KML: .kml, .kmz MapInfo MIF/MID: .mif MicroStation File: .dgn Geospatial Data Files

Fuente: Elaboración propia.

Ubicación de los Aerogeneradores

En el contexto del proyecto, la determinación de la ubicación óptima de los aerogeneradores, como se expuso en el primer capítulo, recae en la eficiencia energética.

"Los parques eólicos requieren de amplias extensiones de tierra debido a que, para su máximo desempeño, los aerogeneradores deben distanciarse entre sí, buscando reducir las pérdidas asociadas con las alteraciones de las características de los vientos al atravesar alguno de estos dispositivos" (García Orrego, S. 2021, p. 20).

Esta tarea será llevada a cabo por un especialista encargado de asignar coordenadas precisas que definan la posición de los aerogeneradores en la zona del proyecto. Este enfoque asegura una ubicación estratégica que maximiza la eficiencia operativa y la generación de energía en el marco de nuestro proyecto, y la cual se deberá preservar con exactitud a la hora de realizar el diseño civil de las plataformas de los aerogeneradores y sus carreteras. Estos datos pueden ser proporcionados de las siguientes maneras:

Tabla 2 - Datos de ubicación de los aerogeneradores.

Tipo de dato	Descripción	Formato
Nubes de puntos	Proporciona una representación tridimensional detallada de las posiciones exactas donde se instalarán los aerogeneradores, ofrece una visualización precisa de la distribución espacial dentro del terreno. Las nubes de puntos generadas pueden ser importadas en los softwares de diseño.	.csv .txt Archivos de texto

Coordenadas	Los archivos KML/KMZ pueden ser fácilmente importados y visualizados en Google Earth, proporcionando una representación gráfica clara y detallada de la ubicación exacta de cada aerogenerador dentro del terreno. Adicionalmente, este tipo de archivos pueden ser integrados con otras herramientas de software GIS (Sistemas de Información Geográfica) para realizar análisis más avanzados	.kml .kmz

Fuente: Elaboración propia.

Áreas Restringidas

Según lo expuesto en el primer capítulo de esta monografía, el estudio de prefactibilidad óptimo debe considerar diversos aspectos vinculados al ámbito social y ambiental. En este capítulo, se deben tener en cuenta los siguientes datos iniciales:

Tabla 3 - Datos de áreas restringidas.

Tipo de dato	Descripción	Formato
Delimitación de área	En relación con los elementos que contenga algún grado de significancia cultural y/o social, se solicita que sean georreferenciados y presentados en una ficha de descripción, además, sean considerados como parte del área de influencia.	.kml .kmz .shp

Fuente: Elaboración propia.

Hidrografía

La comprensión de los cuerpos de agua presentes en la zona del proyecto emerge como un aspecto crítico en esta fase de prefactibilidad. La obtención de datos hidrográficos es fundamental para diversas actividades de diseño civil de las carreteras y plataformas de los aerogeneradores, incluyendo obras de drenaje e identificación de áreas susceptibles a inundaciones.

Los cuerpos de agua y humedales "(…) representan una restricción desde la dimensión física que es general a la mayoría de los proyectos de desarrollo, tanto por la dificultad técnica como por el valor que tienen dentro del ecosistema" (García Orrego, S., 2021, p. 39).

En el contexto de esta monografía, esta información se empleará principalmente para discernir las secciones de la carretera de acceso que podrían ser impactadas por cuerpos de agua, y para evaluar posibles estrategias de diseño que mitiguen tales impactos.

Tabla 4 - Hidrografía.

Tipo de dato	Descripción	Formato
Hidrografía	La correcta identificación y caracterización de los cuerpos de agua en la zona del proyecto proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas y la optimización del diseño de las infraestructuras asociadas al parque eólico.	.kml .kmz .dwg .shp

Fuente: Elaboración propia.

Geotecnia

La adquisición del informe geotécnico constituye un paso crucial al iniciar el diseño civil de las plataformas y las carreteras de acceso en un proyecto eólico. El objetivo primordial de este informe es obtener una comprensión detallada de las características de los taludes que se desarrollarán durante el movimiento de tierras. En la fase de prefactibilidad, los datos de mayor relevancia para los frentes de trabajo abordados se centran en los parámetros que definen la geometría de los taludes.

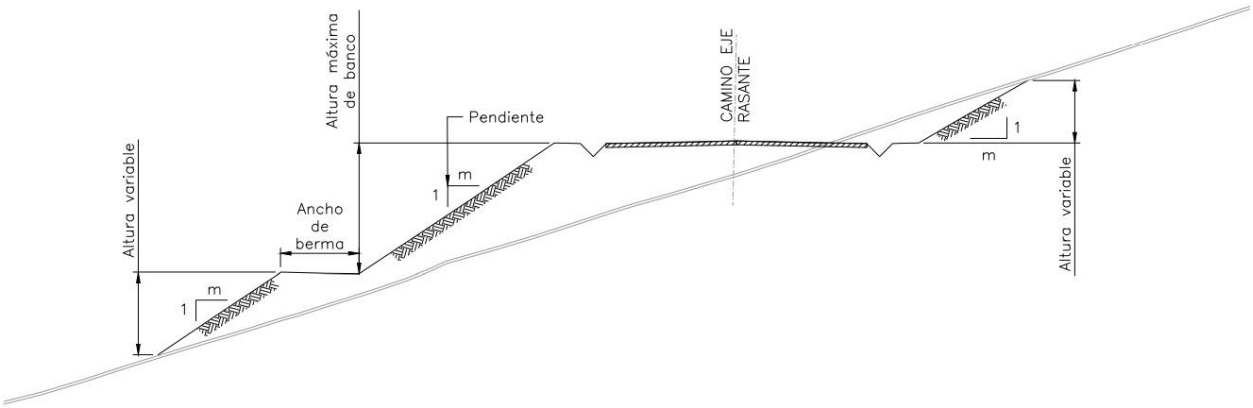
Estos parámetros incluyen la pendiente del talud, la altura del banco, el ancho de la berma y la altura global o máxima del talud. La entrega de este insumo se suele incluir en el informe geotécnico, que además proporciona la delimitación de las zonas donde aplicar cada tipo de talud requerido para el proyecto.

Tabla 5 - Informe geotécnico.

Tipo de dato	Descripción	Formato
Informe geotécnico	La adecuada comprensión y aplicación de esta información geotécnica es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras en el desarrollo del proyecto eólico.	.pdf .xlsx

Fuente: Elaboración propia

Imagen 4. Elementos de un talud.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de identificar los datos geoespaciales necesarios para el diseño de las plataformas de aerogeneradores y sus carreteras, se debe considerar que los datos iniciales de diseño provienen en su mayoría de las especificaciones del tipo de aerogenerador, como se mencionó anteriormente. A continuación, se ofrece una contextualización respecto a los proveedores de aerogeneradores.

Proveedores de Aerogeneradores

En el diseño de plataformas y carreteras para aerogeneradores, la elección de los proveedores de aerogeneradores es fundamental para iniciar una planificación precisa y eficiente. Esto debido a que es el proveedor quien estipulara los requerimientos de diseño para estos dos elementos, y con esta información el diseñador civil deberá presentar la alternativa óptima para el movimiento

de tierras en la etapa de prefactibilidad, sin embargo, es posible que no se tenga claro el proveedor hasta determinar la viabilidad del proyecto, es por esto que se suele realizar una propuesta generalizada en esta primera etapa.

Teniendo en cuenta lo anterior, de acuerdo con los datos recopilados por el Consejo Global de la Energía Eólica (Global Wind Energy Council, GWEC) en la segunda edición de su informe Supply Side Analysis 2019, se identificaron los 10 principales fabricantes de aerogeneradores a nivel mundial en el año 2019:

1. “Vestas – 18.0%
2. Siemens Gamesa Renewable Energy – 15.7%
3. Goldwind – 13.2 %
4. GE Renewable Energy – 11.6%
5. Envision – 8.6%
6. Mingyang – 5.7%
7. Nordex Acciona – 4.9%
8. Enercon – 3.0%
9. Windey – 2.5%
10. Dongfang – 2.1%” (Barrero A., 2020).

Entre los 10 principales fabricantes de aerogeneradores en el mundo, los proveedores que han participado en el desarrollo de parques eólicos en Colombia son principalmente Vestas y Nordex:

"Nordex Group está presente en Colombia desde 2004, cuando instaló las primeras turbinas eólicas en el país. Desde entonces, ha ido incrementando gradualmente su actividad en la región. Recientemente, nuestro equipo de compañeros de Nordex Group, que es pequeño, pero no deja de crecer, inauguró la primera filial de la compañía en la región." (Nordex, 2022).

Por otro lado, (…) "En cierta forma, Vestas fue pionero en el mercado colombiano porque suministró las turbinas para el primer parque eólico que se instaló en Colombia (Jepirachi) hace 17 años, pero ahora no somos los únicos" (García M., 2023).

Una vez identificados los principales fabricantes mundiales y proveedores líderes en Colombia, es esencial tener en cuenta que estos establecen ciertos criterios que deben considerarse como datos iniciales para llevar a cabo el diseño civil de las plataformas y sus carreteras, tal como se mencionó previamente.

De acuerdo con lo anterior, se tuvo acceso a los catálogos de proveedores destacados como Nordex, Vestas y Siemens; proveedores que se encuentran entre los diez principales fabricantes a nivel mundial, y los dos primeros han tenido presencia en el territorio colombiano. Es importante señalar que la información contenida en dichos catálogos es de naturaleza privada y su reproducción está prohibida. Por lo tanto, en este capítulo se presenta una recopilación de los rangos o promedios de los datos iniciales establecidos por estos tres proveedores para tener en cuenta en el diseño.

Criterios de Diseño Civil para las Plataformas

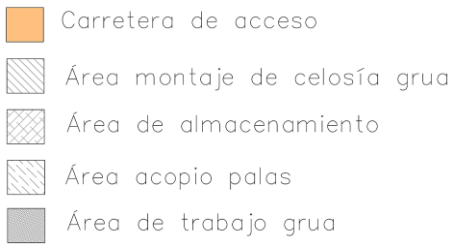
Como se ha destacado previamente en esta monografía, la planificación y ejecución efectiva de parques eólicos requiere una comprensión detallada de las condiciones geoespaciales y de los datos iniciales. Entre estos datos iniciales se incluye el diseño adaptado de las plataformas de los aerogeneradores según las medidas y especificaciones proporcionadas por los proveedores. En este capítulo se exploran los criterios esenciales para el diseño civil de estas plataformas, donde la consideración meticulosa de las características de los aerogeneradores es fundamental para asegurar la seguridad y eficiencia de las estructuras en los parques eólicos. Además, se destaca la

importancia de personalizar los requisitos de diseño según las condiciones específicas de cada proyecto, basándose en las guías proporcionadas por los proveedores de aerogeneradores.

Para comprender mejor este proceso, se presentan ejemplos de plataformas de grúa como referencia para el diseñador civil. Esto proporcionará una contextualización de los posibles insumos que se entregarán para iniciar el diseño, permitiendo entender cómo adaptarlos de manera óptima al proyecto real. Este enfoque garantiza una planificación eficiente y una implementación fluida del diseño en el desarrollo del parque eólico.

A continuación, se presentan las convenciones de las imágenes de los ejemplos de esquemas de las plataformas antes de ser visualizadas:

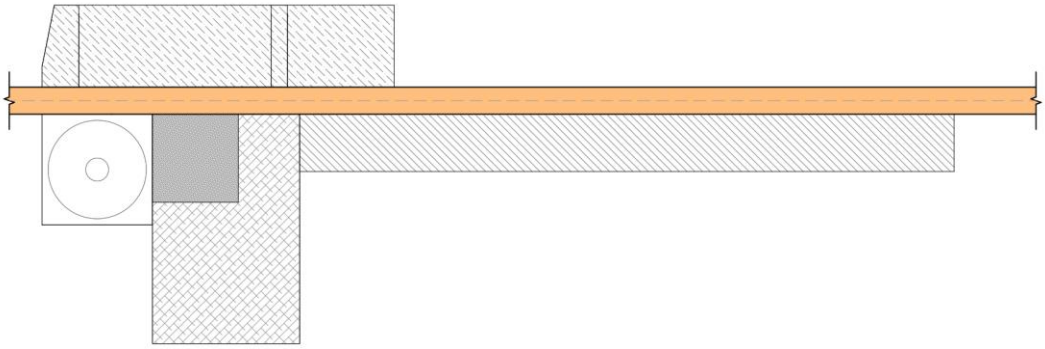
Imagen 5. Convenciones ejemplos de esquemas de las plataformas.



Fuente: Elaboración propia.

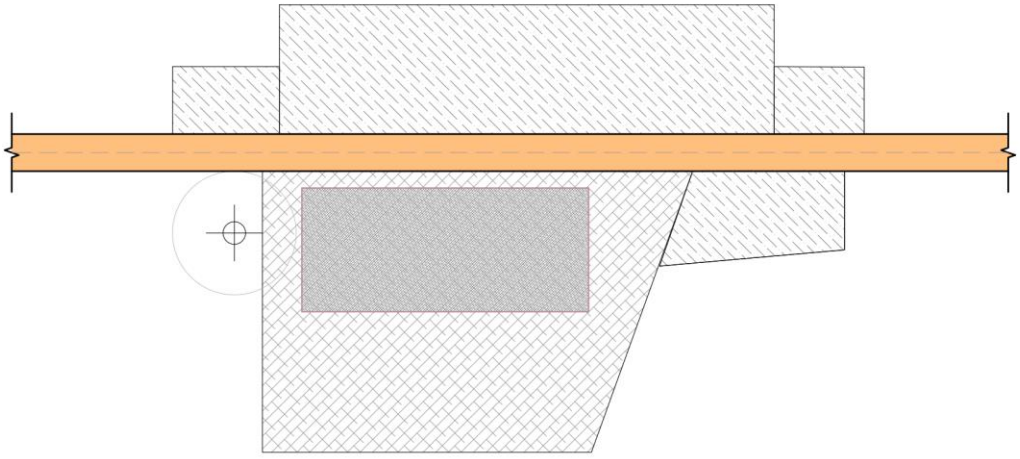
Después de familiarizarse con las convenciones de las imágenes que se presentarán a continuación, es importante destacar que los ejemplos de diseño no están asociados a ningún proveedor específico. Su objetivo principal es mostrar la vista en planta del esquema de diseño de las plataformas, exponiendo las diferentes formas de distribuir y dimensionar cada zona de la plataforma.

Imagen 6. Ejemplo 1 esquema plataforma de aerogenerador.



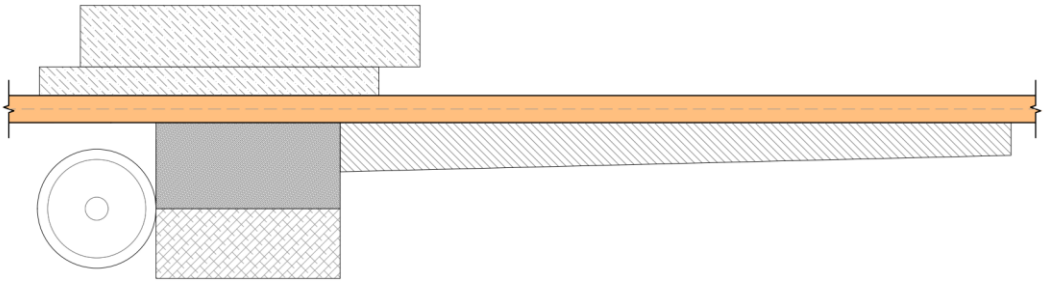
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 7. Ejemplo 2 esquema plataforma de aerogenerador.



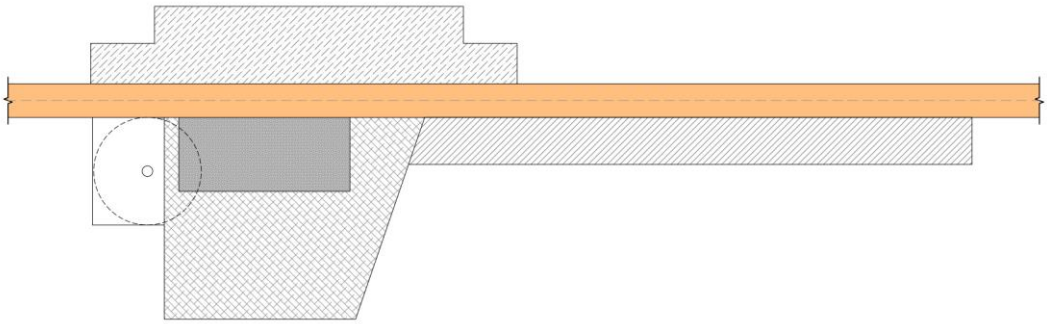
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 8. Ejemplo 3 esquema plataforma de aerogenerador.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 9. Ejemplo 4 esquema plataforma de aerogenerador.

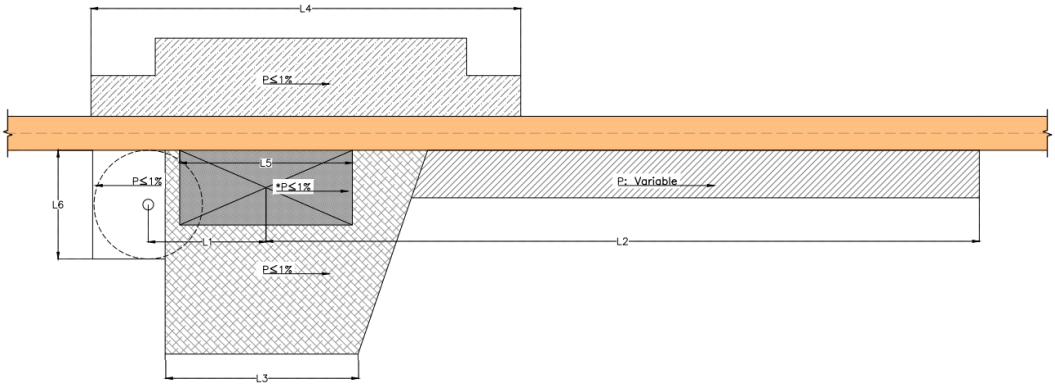


Fuente: Elaboración propia.

Basándose en los ejemplos de los esquemas de plataformas de aerogeneradores presentados anteriormente, se puede observar cómo varía la distribución y dimensiones de cada zona de la plataforma según el tipo de aerogenerador. A pesar de estas variaciones, en el diseño de la plataforma se mantienen las zonas de diseño establecidas en las convenciones iniciales (ver Imagen 5).

Una vez comprendido esto, se ha seleccionado el ejemplo 4 del esquema de la plataforma (Imagen 9) para ampliar su concepto, con el fin de dimensionar las medidas de longitud y área correspondientes.

Imagen 10. Esquema plataforma de aerogenerador.



Fuente: Elaboración propia.

La imagen 10 muestra una vista en planta de la plataforma del aerogenerador, donde nuevamente se pueden diferenciar las distintas zonas que la componen, esta vez indicando la longitud específica que se debe considerarse en su diseño.

Es importante destacar que esta vista en planta es un ejemplo del diseño inicial de la plataforma, propuesto para garantizar un ensamblaje óptimo y cómodo del aerogenerador. Una vez completado el ensamblaje, algunas áreas de la plataforma pueden quedar inutilizadas, lo que puede resultar en una reducción del área total de la plataforma como producto final.

Respecto al material de la plataforma, se recomienda que las áreas alrededor de la turbina eólica estén siempre cubiertas con un pavimento de árido graduado para evitar la acumulación de barro y polvo. Esta medida es crucial tanto por motivos de seguridad como para mantener el aerogenerador limpio durante su construcción, operación y mantenimiento, en cuanto al material de las plataformas.

Si se anticipan lluvias frecuentes o presencia de barro, se cubrirá la superficie de la zona con una capa de árido graduado o grava para asegurar condiciones de trabajo seguras. No se permitirán áreas de trabajo resbaladizas.

Dado que esta monografía se enfoca en el diseño durante la fase de prefactibilidad, es crucial destacar que en esta etapa es posible que no se seleccione un proveedor específico y se evalúen diversas opciones. En este sentido, es imperativo contemplar diferentes escenarios y presentar un diseño flexible que pueda satisfacer los requisitos más comunes entre los proveedores. De este modo, en fases posteriores, con la selección de un proveedor específico, solo será necesario optimizar el diseño existente.

Una vez determinadas las dimensiones de los aerogeneradores, el siguiente paso es comprender los requisitos específicos establecidos por los proveedores para el diseño de las

plataformas del parque eólico. Estos lineamientos, ofrecidos por los proveedores, constituyen la base fundamental para la elaboración de un diseño óptimo de las plataformas destinadas a los aerogeneradores.

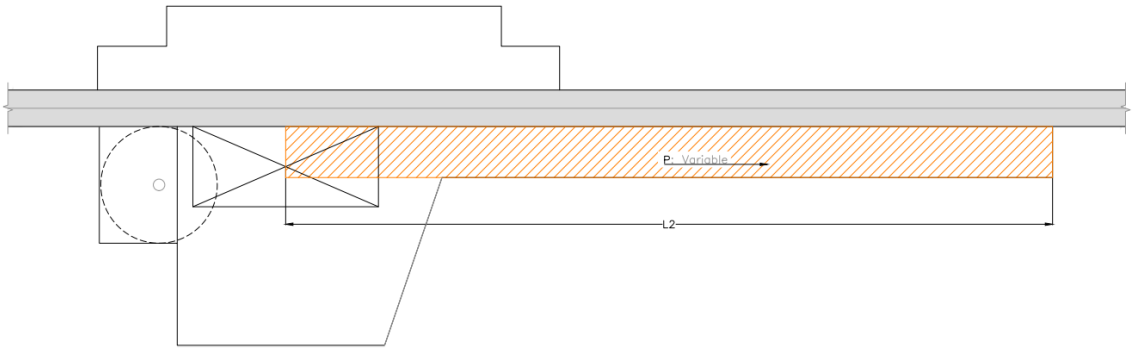
Zonas de una Plataforma de Grúa

Las zonas requeridas para la plataforma de montaje dependerán del proveedor, es decir que, a partir de la guía de requerimientos de la plataforma suministrada por este, se realizara el diseño final de la misma, sin embargo, como contextualización se presentaran las zonas más comunes entre los proveedores:

Zona montaje de pluma: Esta zona está destinada específicamente para el montaje de la pluma del aerogenerador. La pluma es la parte del aerogenerador que sostiene las palas y se extiende desde el buje hasta el extremo de las palas.

En esta área, se llevan a cabo las operaciones de montaje, ajuste y ensamblaje de la pluma, asegurando que esté correctamente instalada y lista para funcionar.

Imagen 11. Zona montaje de pluma.



Fuente: Elaboración propia.

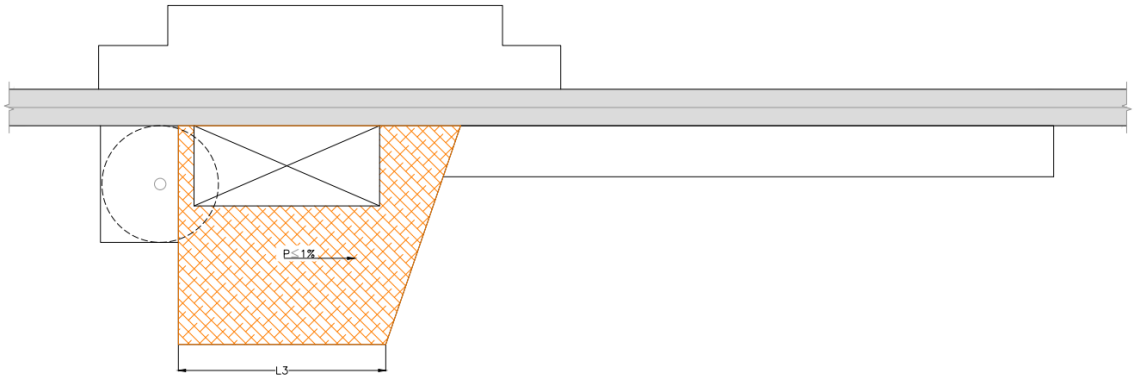
Según la imagen 11, la longitud L2 corresponde a la medida de la pluma de la grúa de celosía la cual debe ser proporcional a la altura de la torre del aerogenerador más 20 a 25 metros para

facilitar el montaje de la misma. Según lo anterior, se conoce que la altura de la torre suele ser de 30 metros, entonces, la longitud L2 varía entre 50 a 55 metros.

Zona de almacenamiento: En esta zona se almacenan diversos componentes y materiales necesarios para la instalación y mantenimiento de los aerogeneradores Puede incluir equipos, herramientas, repuestos, materiales de construcción, y otros suministros requeridos durante el proceso de instalación y operación del parque eólico.

El área de almacenamiento está organizada para acceder fácilmente a los elementos necesarios y protegerlos de las condiciones ambientales adversas.

Imagen 12. Zona de almacenamiento.



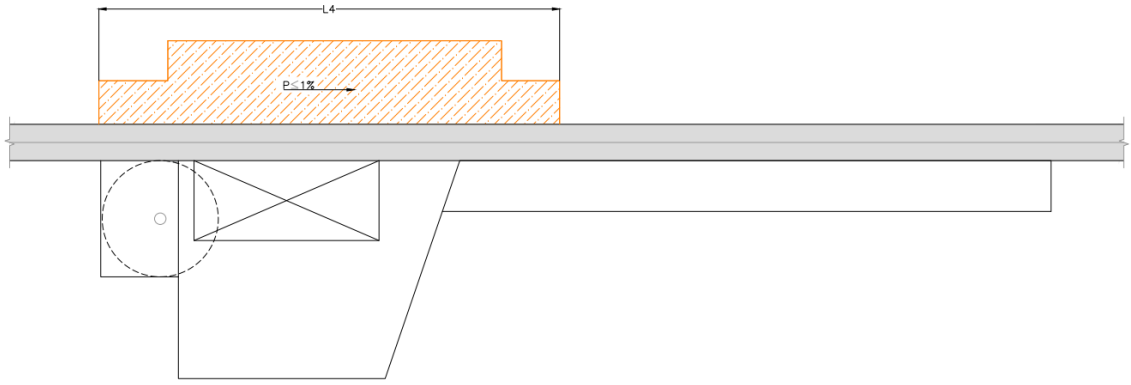
Fuente: Elaboración propia.

Según la imagen 12, la longitud L3 corresponde a esta zona, en donde los elementos más críticos a almacenar suelen ser las secciones de la torre, por lo que se debe considerar como longitud paralela al área de la grúa, la longitud de la sección más larga más dos pasillos de 3 metros a cada lado para movilidad.

Zona de acopio de palas: Esta área está designada para el almacenamiento temporal de las palas de los aerogeneradores antes de su instalación. Las palas de los aerogeneradores son componentes grandes y delicados que requieren un manejo cuidadoso y un espacio adecuado para su almacenamiento seguro.

En esta zona, las palas pueden estar colocadas en posición horizontal o vertical, según la logística y los requisitos del sitio de instalación.

Imagen 13. Zona de acopio de palas.



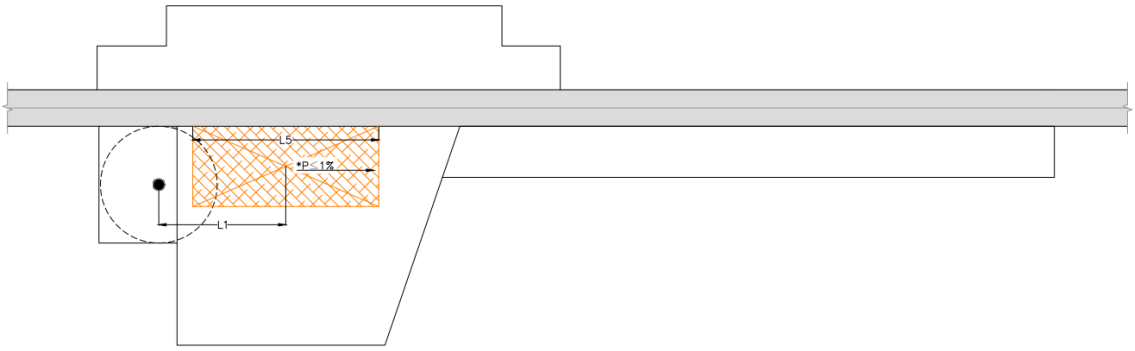
Fuente: Elaboración propia.

Según la imagen 13, la longitud L4 corresponde a la zona de almacenamiento de las palas, la cual debe diseñarse según la longitud de la pala más una zona de trabajo que se suele situar en la raíz de esta para permitir la circulación de la carretilla elevadora.

Zona de trabajo de la grúa: Este espacio está destinado para las operaciones de elevación y manipulación de componentes pesados del aerogenerador, como la pluma, las palas y otros equipos. Se utiliza principalmente para el montaje inicial del aerogenerador, así como para el mantenimiento y reparación periódica.

La grúa se desplaza por esta área según sea necesario para acceder a los diferentes puntos de instalación y servicio de los aerogeneradores.

Imagen 14. Zona de trabajo de la grúa.



Fuente: Elaboración propia.

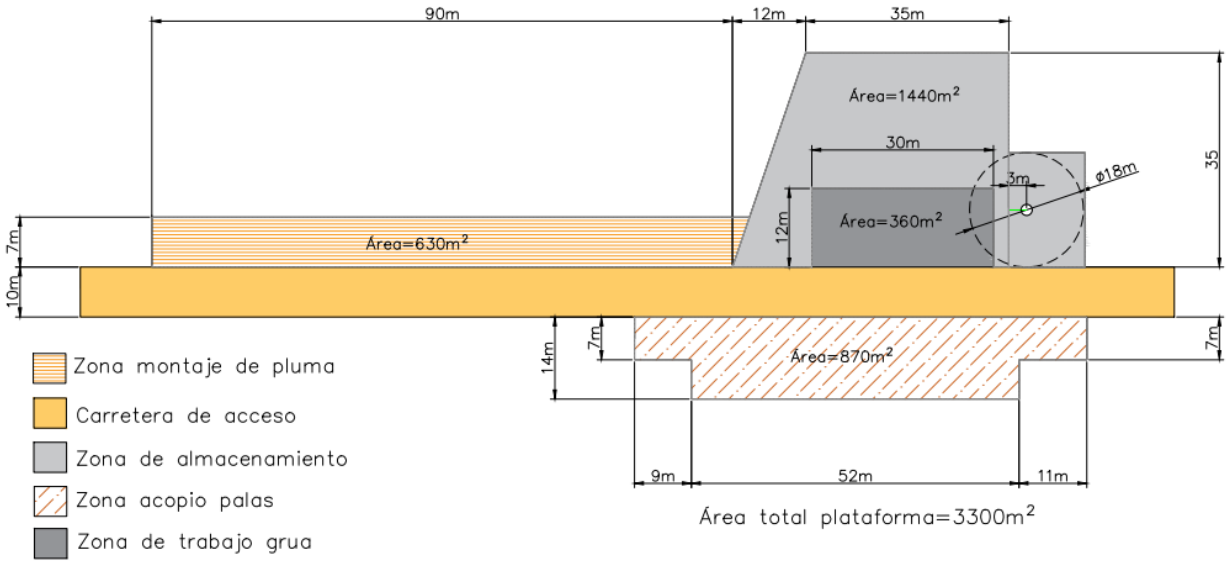
Según la imagen 14, la longitud L5 corresponde a esta zona, donde se deben contemplar tres secciones, la zona más cercana a los cimientos corresponderá a la zona de la grúa principal, seguida de esta se considera un corredor de 3 metros para movilidad, y por último el área de la grúa auxiliar. Para esta zona se recomienda que la elevación sea igual a la carretera de acceso y la zona de almacenamiento de las palas, y no debe situarse sobre los cimientos.

Pendientes para drenaje: En caso de considerarse necesario una pendiente para el drenaje en las zonas que conforman la plataforma, esta deberá ser revisada en la guía del proveedor, la pendiente suele ser como máximo 1% en todas las zonas. La dirección del flujo deberá ser diseñada para evacuar la zona de cimentación y la zona te trabajo de la grúa.

En la imagen 10, se identifica la dirección de flujo y la pendiente de cada zona, (*P). Cabe resaltar que, si la grúa principal es sobre orugas convencional, la pendiente deberá ser de 0%.

Tras familiarizarse con los rangos de longitudes de cada zona de la plataforma, es posible facilitar su dimensionamiento en términos del área en metros cuadrados que ocupa. Para una comprensión más clara de ello, se presenta la siguiente imagen:

Imagen 15. Esquema área plataforma de aerogenerador.



Fuente: Elaboración propia.

Según se observa en la imagen 15, el área total en promedio de la plataforma es de 3.300m^2. Es importante destacar que esta cifra puede variar en función de las especificaciones del aerogenerador y los requisitos del proveedor. No obstante, este ejemplo de plataforma sirve como referencia para facilitar su dimensionamiento durante el proceso de diseño.

En cuanto a la cimentación de la torre del aerogenerador que se ubica en cada plataforma, según el ingeniero Diego Villa se puede decir que:

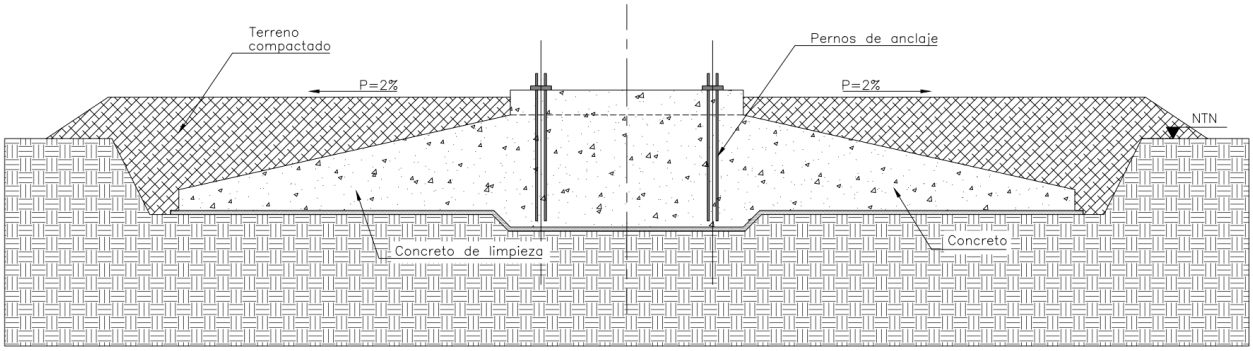
“Las cimentaciones propuestas son fundaciones superficiales circulares. Las mismas tienen un diámetro externo de 22,00 m; y el espesor de la fundación varía desde los 0,60 m en el diámetro exterior hasta los 2,40 m en el diámetro de los 5,40 m. Por encima de los 2,40 m la fundación tiene un pedestal de 0,60 m”. (Villa, 2022, p.12).

De acuerdo con lo consultado en diferentes catálogos de proveedores de aerogeneradores y fuentes académicas, se puede definir que encima de la fundación se añade un relleno de suelo seleccionado con la densidad adecuada, inclinado aproximadamente un 2% hacia el exterior de la

fundación. También es importante al momento del diseño de la cimentación de la torre del aerogenerador, tener en cuenta la Jaula de Pernos de Anclaje la cual tiene una altura en promedio de 3,50 m. Esta se encuentra embebida en el núcleo de la fundación, como se muestra en la imagen 16, excepto los últimos 30 cm, que quedan fuera. El diámetro promedio de la Jaula es de 4,13 m.

Será necesario como anteriormente se ha mencionado, obtener como datos iniciales las medidas que proporcionan los proveedores de acuerdo con el tipo de aerogenerador para así poder definir con exactitud la geometría de la fundación que contiene la jaula de perno, la cual es clave para el anclaje de la torre del aerogenerador. La figura siguiente muestra la geometría general de las fundaciones.

Imagen 16. Geometría general fundación torre de aerogenerador.



Fuente: Elaboración propia.

Según la imagen anterior, se pueden identificar las distintas zonas que componen la cimentación de la torre de un aerogenerador. Esta cimentación no solo considera las condiciones naturales del terreno, sino que también se diseña basándose en los factores de mayoración de cargas, los cuales se encuentran definidos en la Normativa IEC 64100-1: Modelado del viento en condiciones normales. Aunque no es una ley obligatoria, es una normativa recomendada por los proveedores en sus catálogos y mencionada en algunos documentos académicos.

En cuanto a los factores de mayoración de cargas, estos se calculan a partir de las condiciones extremas y de fatiga según la normativa. Algunos de los factores extremos son los siguientes:

- Cargas extremas:
  - Cargas extremas factorizadas.
  - Cargas extremas no factorizadas.
  - Cargas normales.
  - Cargas anormales.
  - Cargas de transporte y montaje.
- Cargas frecuentes.
- Cargas cuasi permanentes.
- Datos para el cálculo del daño por fatiga.

Además, se incluyen los requisitos para la interacción del suelo con la cimentación, tales como asentamientos y rigidez rotacional mínima.

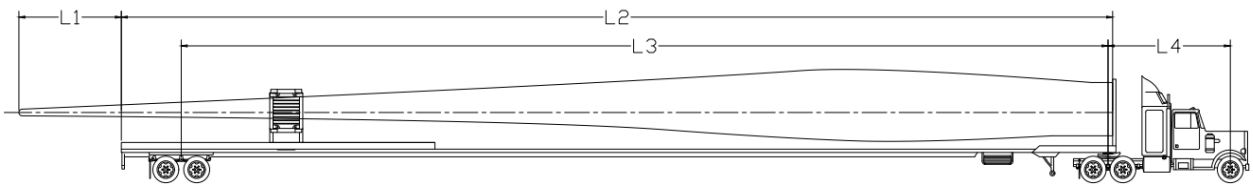
En conclusión, el diseño civil de plataformas para aerogeneradores requiere una cuidadosa consideración de una serie de criterios clave. Es fundamental comprender las medidas necesarias para garantizar la estabilidad y seguridad de la plataforma, así como tener en cuenta las características específicas del entorno en el que se ubicará. La inclinación del terreno, la topografía y otros factores geográficos deben ser evaluados meticulosamente para adaptar el diseño a las condiciones particulares del sitio. Además, es esencial considerar zonas especiales de la plataforma, como áreas de acceso y mantenimiento, para optimizar la eficiencia operativa y garantizar la seguridad del personal. En resumen, al incorporar estos criterios de diseño civil de las plataformas de aerogeneradores, se puede asegurar que estas sean robustas, funcionales y adecuadas para su propósito en el largo plazo.

Criterios de Diseño Civil para las Carreteras

Una vez se han comprendido las condiciones geoespaciales y los datos iniciales esenciales para ejecutar un diseño óptimo de las plataformas de los aerogeneradores, se abre la puerta para explorar ahora estas mismas condiciones y datos iniciales en el contexto del diseño de las carreteras de los aerogeneradores. En este apartado, se explorarán los criterios clave que guían el diseño civil de las plataformas, destacando la importancia de considerar cuidadosamente las características del terreno y los requisitos técnicos específicos para garantizar un acceso seguro y eficiente a los sitios de instalación.

Al igual que en el diseño de las plataformas para los aerogeneradores, es de suma importancia que el diseñador civil elabore un diseño amplio y especializado para las carreteras, considerando las dimensiones de los aerogeneradores y la maquinaria que trasladará estos elementos. Un ejemplo ilustrativo se presenta a continuación:

Imagen 17. Esquema traslado pala de aerogenerador.



Fuente: Elaboración propia.

La imagen 16 muestra el proceso para el transporte terrestre de una pala de aerogenerador. Es fundamental considerar ciertas medidas destacadas en la ilustración para garantizar un traslado seguro y eficiente. A continuación, se detallan estas medidas:

L1: Esta longitud contempla el voladizo de la pala, la cual requiere una zona adicional despejada y libre de obstáculos en la curva, la anchura de esta zona será igual al voladizo de la pala.

L2: Esta longitud corresponde a la longitud de la pala menos el voladizo, define la mayor distancia para tener en cuenta y por la cual se deberá contemplar los radios de las curvas adecuados.

L3: La distancia entre los ejes del camión se debe contemplar ya que esta representa un área adicional que debe estar despejada y libre de obstáculos dentro de la curva. Esta superficie adicional varía en función del camión y del radio de la curva, deberá comprobarse en fases posteriores a la prefactibilidad del proyecto para un diseño más específico.

L4: Esta longitud corresponde a la distancia entre los ejes de la cabina del camión, esta distancia afecta la estabilidad y el rendimiento en curvas durante la conducción.

Luego de ser socializadas las respectivas longitudes del camión que realizaría el transporte terrestre de una pala de aerogenerador, el siguiente paso es comprender los requisitos específicos de los proveedores con respecto al diseño de las carreteras del parque eólico. Estos lineamientos proporcionados por los proveedores sirven como base para trazar la ruta óptima. A continuación, se muestra una recopilación de los criterios de diseño vial generales necesarios para tener en cuenta:

Tabla 6 - Criterios de diseño vial para carreteras de aerogeneradores.

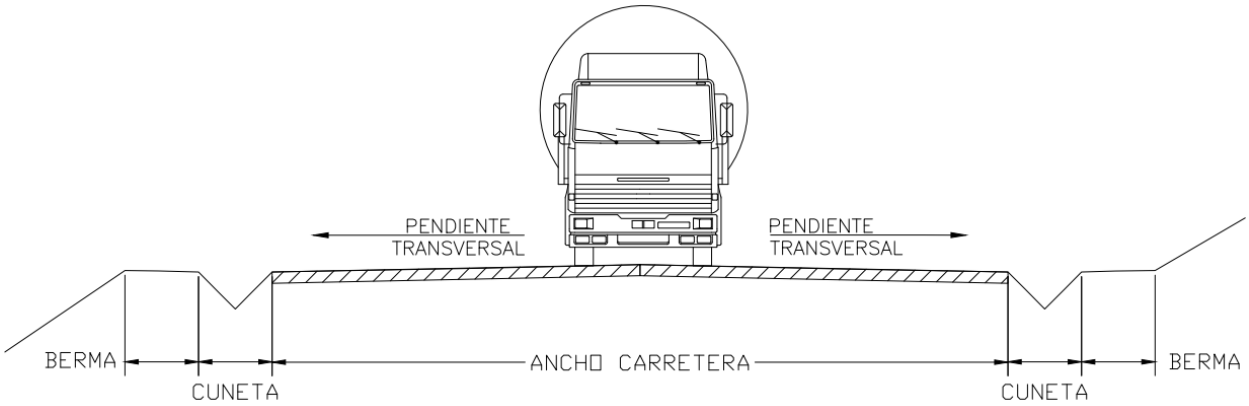
No.	Ítem	Valor
1	Anchura o Ancho mínimo de carretera	10 m
2	Pendiente máxima transversal en viales	2%
3	Pendiente máxima sin hormigón en tramos rectos (R>=100)	8%
4	Pendiente máxima sin hormigón en tramos curvos (R< 100)	5%
5	KV mínimo	750
6	Longitud recta mínima antes/después de una curva	130 m
7	Radios de giro mínimo	60 m

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 6, se presentarán a continuación diferentes esquemas e imágenes que detallan los ítems mencionados en dicha tabla. Estas representaciones visuales proporcionarán

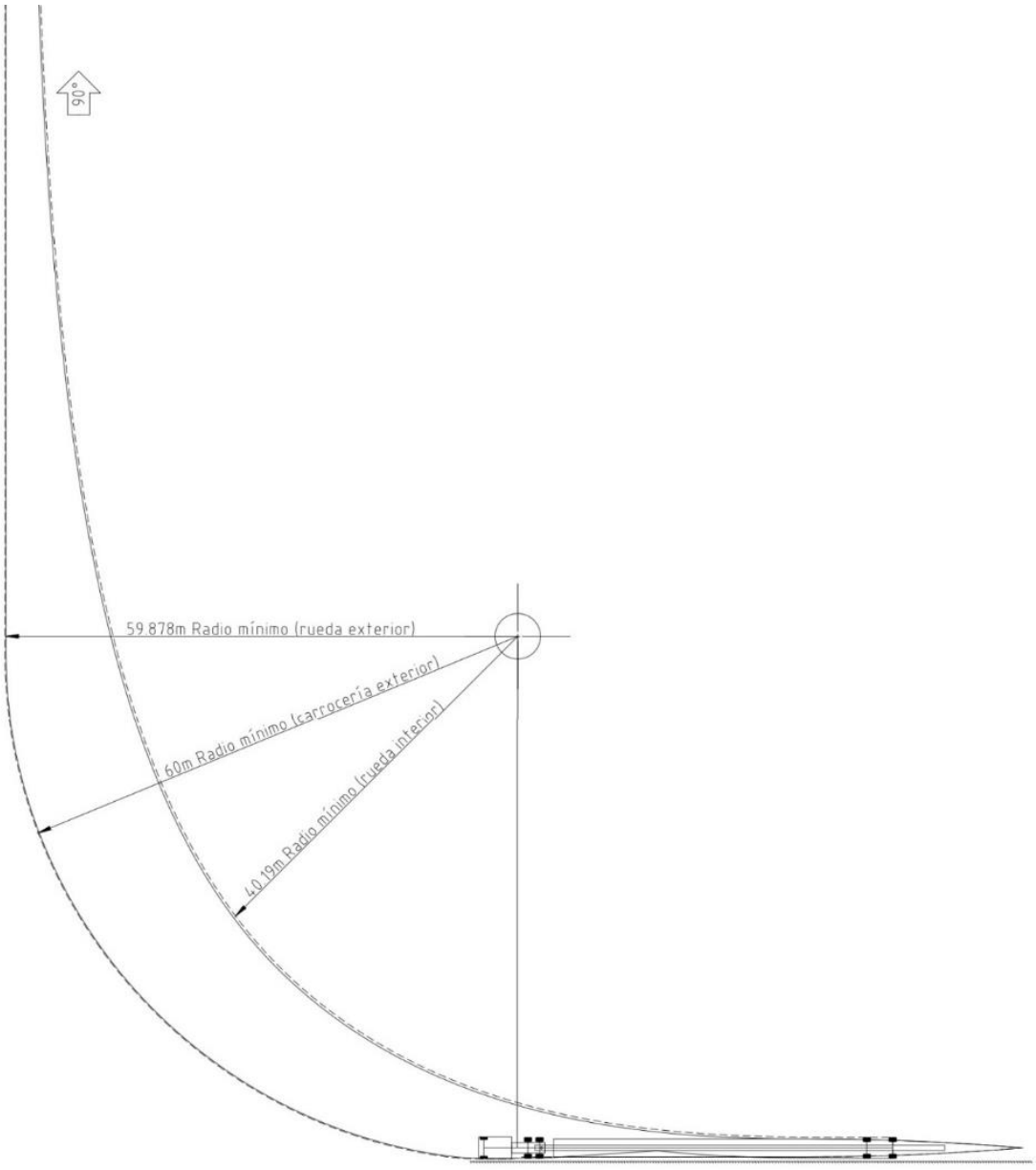
una comprensión más clara y detallada de los diversos aspectos, facilitando la comprensión y aplicación de los criterios de diseño vial especificados.

Imagen 18. Esquema elementos de la vía.



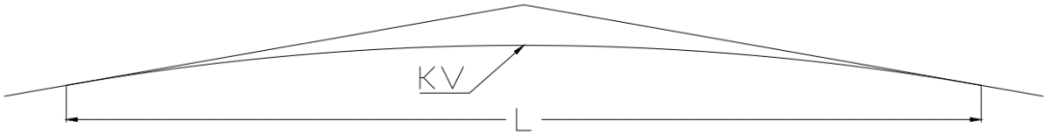
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 19. Radios de giro.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 20. Kv mínimo.



Fuente: Elaboración propia.

Además de los criterios mencionados en la tabla 6, los proveedores han definido otros parámetros esenciales para dimensionar las cargas que deben soportar las carreteras y establecer el diseño del pavimento. Aunque esta monografía se centra en la etapa de prefactibilidad del proyecto y no aborda en detalle el diseño del pavimento, es importante mencionarlos para una adecuada planificación del transporte de las partes de los aerogeneradores.

Capa de firme: El pavimento de las carreteras estará compuesto, como mínimo, por una capa de firme de 15 cm de espesor de árido clasificado, compactado al 98% Proctor Modificado. El espesor mínimo se definirá mediante un informe de diseño de cálculo de carreteras basado en el código aplicable. La granulometría máxima del árido será inferior a 20 mm y el contenido en finos no superará el 10%. Deberá tener una baja plasticidad para evitar la formación de barro en caso de lluvia. No se aceptará árido con un índice de plasticidad superior a 9.

Capacidad portante: Se debe realizar un cálculo específico de la capacidad portante de la carretera para garantizar el transporte de toda la maquinaria involucrada en el proyecto, incluido el arrastre de una grúa sobre orugas y/o el desplazamiento de una grúa sobre ruedas, teniendo en cuenta todos los esfuerzos multidireccionales (verticales, horizontales y de torsión) en todos los ejes, entre otros, y gradientes o pendientes. La capacidad portante mínima de las carreteras del parque eólico será de 200 kN/m². Adicionalmente, se diseñarán para soportar una carga por eje de camión de 12 toneladas.

En caso de que se prevea circular con la grúa parcial o totalmente aparejada para reducir el número de elevaciones, por razones de seguridad, la carga por eje se incrementará a 22 toneladas por eje cuando se encuentre en el emplazamiento. Si las condiciones del terreno lo permiten, esta carga puede aumentarse a 25-30 toneladas por eje para optimizar el movimiento de la grúa entre

los soportes rígidos. Los gradientes y las pendientes aumentarán las cargas por eje, por lo que esto debe evaluarse según el proyecto específico.

En conclusión, el diseño civil de carreteras para aerogeneradores requiere una cuidadosa consideración de una serie de criterios fundamentales. Es esencial comprender las medidas necesarias para garantizar que las carreteras sean adecuadas para el transporte de los componentes de los aerogeneradores, cumpliendo con los requisitos solicitados por los proveedores de aerogeneradores y la maquinaria de traslado. Estos criterios incluyen la anchura mínima de la carretera, las pendientes máximas permitidas en diferentes tipos de tramos, la longitud recta necesaria antes y después de las curvas, así como los radios mínimos de giro. Al adherirse a estos criterios y asegurarse de que se cumplan durante el proceso de diseño, se puede garantizar que las carreteras sean seguras y adecuadas para el transporte eficiente de los componentes de los aerogeneradores, contribuyendo así al éxito general del proyecto.

Capítulo 3: Implementar la Metodología BIM como Herramienta para el Modelado y Análisis del Terreno

En este capítulo, tras haber identificado los parámetros de ubicación para la construcción de parques eólicos y los datos geoespaciales e iniciales necesarios para el diseño de las plataformas de aerogeneradores y sus carreteras, se explora la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM). Esta metodología se presenta como una herramienta clave para optimizar el modelado de las plataformas y carreteras, permitiendo un análisis eficiente del terreno en la fase de prefactibilidad de proyectos de parques eólicos.

Para ello, se examinan los fundamentos, prácticas y herramientas necesarias para integrar BIM en el diseño y modelado, desde la perspectiva de un diseñador civil u otro profesional afín. Además, se presenta un ejemplo práctico que describe pasos e ideas para generar un modelo que siga los criterios civiles que permiten cumplir los requisitos solicitados por el proveedor para el diseño de las plataformas de aerogeneradores y sus carreteras, y se describen alternativas para obtener información relevante que facilite la toma de decisiones a partir de los modelos generados por el diseñador civil, logrando así que los colaboradores involucrados puedan evaluar la viabilidad y el potencial del proyecto fácilmente en esta etapa inicial, contribuyendo así al desarrollo de este tipo de proyectos y al avance de la industria de energías renovables en el país.

Contextualización de la Metodología BIM

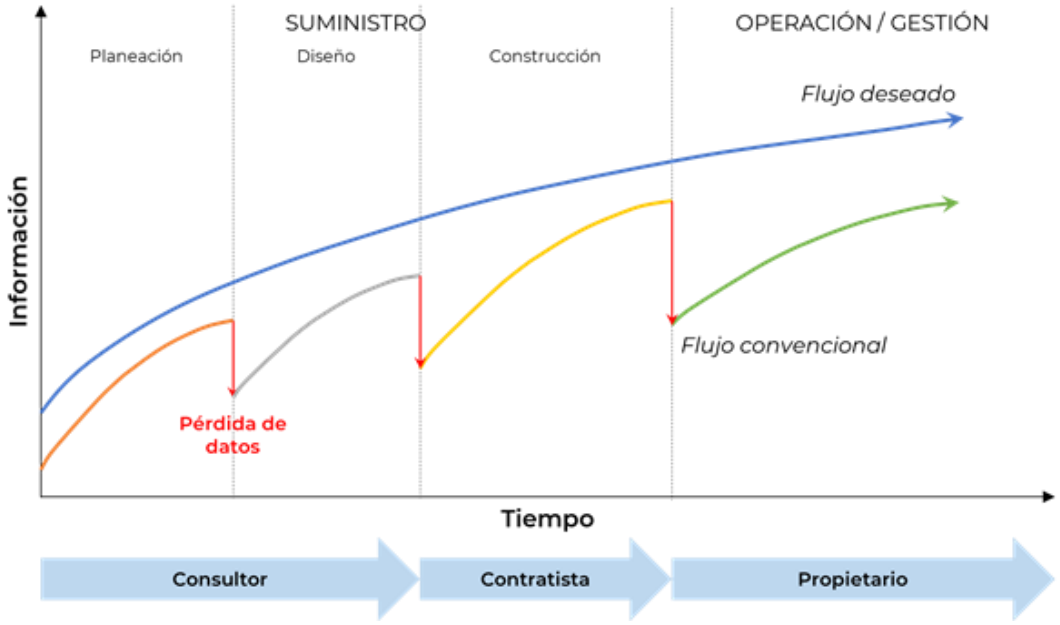
Para comprender la metodología BIM en primer lugar, se recurre a su definición proporcionada por la asociación Building Smart Spain:

"Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información

del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes.” (Building Smart Spain, 2024).

Como se evidencia en dicha definición, la metodología BIM tiene como uno de sus propósitos principales la centralización de la información del proyecto. Este enfoque tiene una importancia crucial en la colaboración de todos los agentes involucrados, lo que resulta en una disminución significativa de la probabilidad de pérdida de información y retrabajos en las diversas etapas del proyecto, tal como se ilustra en la siguiente imagen:

Imagen 21. Pérdida de información durante el ciclo de vida del proyecto.



Fuente: Solorio R. (2023).

A partir de esto, el gobierno nacional presenta la Estrategia Nacional BIM 2020-2026, la cual tiene como objetivo principal modernizar el sector de la construcción e infraestructura mediante procesos colaborativos y el uso de información estandarizada en un entorno digital.

Según esta estrategia, para el año 2024, el cual corresponde al año de publicación de este documento, se espera que el uso de BIM sea obligatorio en entre el 60% y el 75% de los proyectos de construcción públicos. Por lo tanto, es de suma importancia que proyectos como

parques eólicos, que son de iniciativa pública, comiencen a considerar la implementación de BIM desde ahora en el desarrollo de su proyecto. Para el año 2026, este mandato se extenderá a nivel nacional.

Software Utilizado para la implementación BIM

Dentro del contexto de la etapa de prefactibilidad de un proyecto de parque eólico, es poco probable abarcar todas las dimensiones que propone el BIM hasta verificar su viabilidad y avanzar a etapas posteriores. Sin embargo, es esencial adoptar la metodología desde el inicio para aprovechar el trabajo realizado y disponer de la información necesaria para avanzar sin contratiempos en las siguientes fases. Por lo tanto, para el ejemplo presentado en este capítulo, se simula el diseño dentro de un entorno BIM, reconociendo su importancia en la planificación y ejecución eficientes de proyectos de construcción.

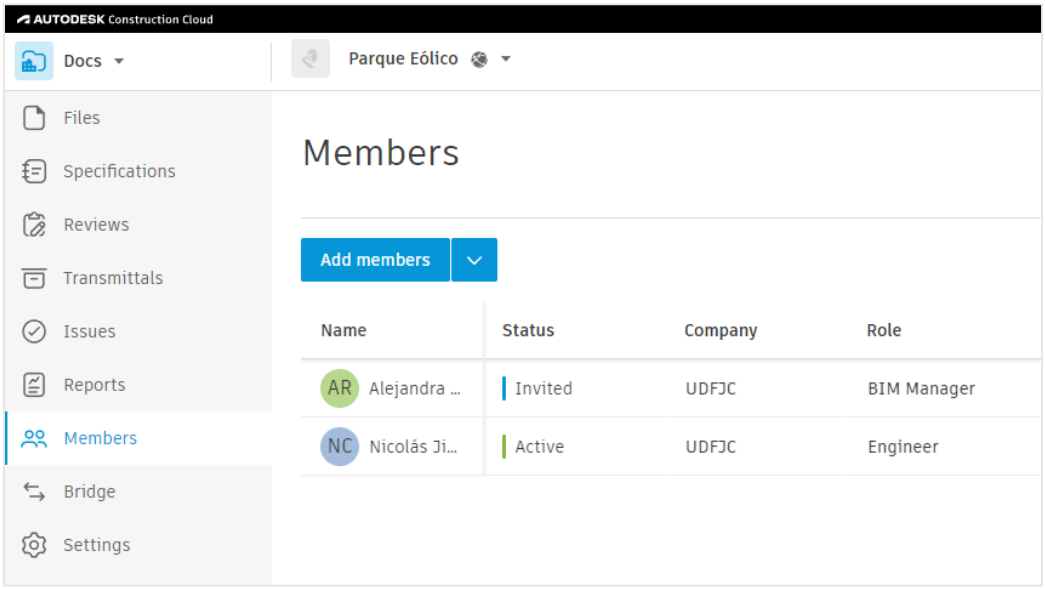
Ambiente Virtual de Trabajo (AVT)

Para comenzar un proyecto que utilice la metodología BIM, es crucial establecer un Ambiente Virtual de Trabajo (AVT) o Common Data Environment (CDE). Este ambiente proporciona un espacio en línea donde se puede almacenar, compartir y gestionar información digital con todos los miembros del equipo y las partes interesadas en el proyecto, lo que permite desarrollar una estructura funcional y coherente para la gestión de la información. Según BIM Forum Colombia desarrollado por CAMACOL:

"El "Ambiente virtual de trabajo" depende básicamente de la exigencia del proyecto y puede ser clasificado según su tamaño o funcionalidad. Puede desarrollarse en un servidor, o en la nube. La verdadera importancia es que este ambiente sea netamente colaborativo y digital, que pueda dividirse entre áreas y que sea de fácil acceso para cualquier persona del equipo." (CAMACOL, 2019, p.5).

Teniendo en cuenta lo anterior, para el ejemplo práctico propuesto en este capítulo, se toma como AVT el software Autodesk Construction Cloud principalmente por su característica de trabajo en la nube y su interrelación con los demás softwares que se usaran en este proyecto.

Imagen 22. Espacio de trabajo Autodesk Construction Cloud.



Fuente: Elaboración propia.

Para el uso de este tipo de ambientes y en general para la gestión de información existen muchos lineamientos que pueden variar entre autores, para Colombia y la estrategia nacional CAMACOL ha creado el BIM KIT, una colección de documentos (guías, plantillas, estándares y matrices) que brindar herramientas para implementar el BIM de manera adecuada, debido a que el alcance de este trabajo no comprende la explicación de la metodología BIM se recomienda el estudio de este tipo de documentos para aplicar las ideas propuestas en este trabajo de la mejor manera.

Software de Modelado

Para el proceso de diseño y de documentación es necesario un software de modelado según el tipo de proyecto que se realice, para el ejemplo y teniendo en cuenta los elementos a diseñar se

escoge la propuesta de Autodesk con su software Civil3D la cual permite flujos de trabajo en términos de BIM.

Civil3D tiene una gran variedad de herramientas de diseño que nos permitirán obtener toda la información de movimiento de tierras, datos geoespaciales, manejo de topografía, modelado de obra lineal necesarias para el proyecto de parque eólico en su fase de prefactibilidad, además de brindarnos opciones cómodas para el trabajo colaborativo, como su conexión directa a nuestro ambiente virtual de trabajo y el uso de herramientas como Data Shortcuts para compartir recursos fácilmente.

Software de Revisión

Se propone como software de revisión Navisworks o el mismo Autodesk Construction Cloud manteniendo los productos propuestos por Autodesk, para llevar a cabo el control y aseguramiento de calidad, es necesario aclarar que en el caso de Navisworks más allá de un software de revisión este posee ciertas características muy útiles para las siguientes etapas como la posibilidad de realizar control de programaciones y costos mediante la simulación 4D y 5D que propone el software, los cuales son aspectos a tener en cuenta para las siguientes etapas del proyecto y para mantener las dimensiones propuestas por el BIM, es por esta razón que dentro del ejemplo práctico a presentar se tendrá en cuenta la emisión de archivos que se logren leer de manera adecuada en Navisworks para que sea de fácil acceso la información de los modelos de la prefactibilidad en siguientes etapas de ser necesario.

Una vez comprendida la implementación de la metodología BIM a través de los tres diferentes softwares, se inicia el diseño de las plataformas de aerogeneradores y sus carreteras. Este proceso se detalla paso a paso, describiendo la utilización de los softwares desde el

comienzo hasta la finalización del diseño, asegurando una integración eficiente y efectiva de todas las herramientas BIM en cada etapa del proyecto**.**

Inicio Ejemplo del Diseño de Plataformas de Aerogeneradores y sus Carreteras

En el contexto de esta monografía sobre el diseño de plataformas de aerogeneradores y sus carreteras, en paso inicial para la aplicación de la metodología BIM implica comprender el proceso para integrar lo desarrollado en un Ambiente Virtual de Trabajo (AVT). Un componente fundamental en este proceso son los Data Shortcuts.

Los Data Shortcuts son archivos que contienen referencias a elementos de diseño cruciales, como alineaciones, perfiles, ensamblajes y superficies, dentro de un proyecto específico en Civil 3D. A través de la plataforma Autodesk Construction Cloud (ACC), estos archivos permiten compartir y reutilizar estos elementos entre diversos dibujos dentro de un mismo proyecto o incluso entre diferentes proyectos.

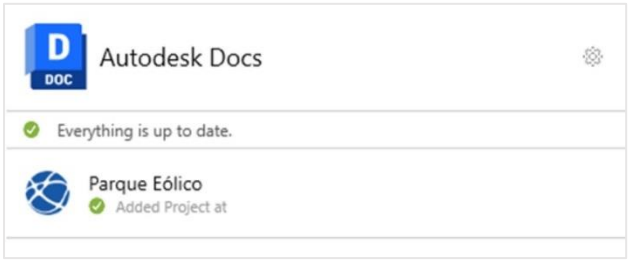
La utilización de Data Shortcuts representa el primer paso en la implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling) en el contexto de esta monografía. Esto se debe a que estos archivos son esenciales para mantener la uniformidad y la exactitud en el diseño. Cualquier modificación realizada en un elemento referenciado dentro de un archivo de Data Shortcut se actualiza automáticamente en todos los archivos que hacen uso de esa referencia.

En conclusión, los Data Shortcuts simplifican la gestión y la colaboración en proyectos de diseño de infraestructura, como el diseño de un parque eólico en este caso particular, al utilizar Civil 3D.

Procedimiento Integración ACC y Data Shortcuts

Para comenzar a utilizar la herramienta de Data Shortcuts, el primer paso consiste en crear la carpeta del proyecto en ACC (Autodesk Construction Cloud) y luego iniciar el proceso de guardado de diseños en línea, siguiendo la ruta preferida.

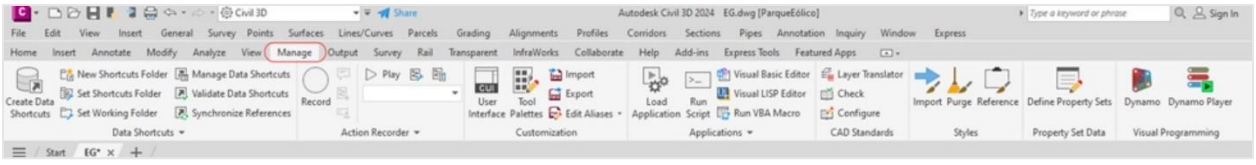
Imagen 23. Creación de la carpeta del proyecto en ACC.



Fuente: Elaboración propia.

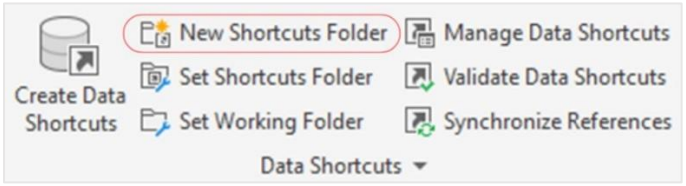
Es recomendable establecer una estructura organizativa clara y comprensible tanto para el diseñador como para sus colaboradores. En este caso, se utiliza la plantilla de carpetas para proyectos proporcionada por Civil 3D, la cual se ajusta adecuadamente a los elementos que se trabajarán. Para iniciar este proceso, se debe ubicar la pestaña "Manage" en la barra de herramientas de Autodesk Civil 3D y seleccionar "New Shortcuts Folder", tal como se muestra en las siguientes imágenes:

Imagen 24. Pestaña "Manage" en la barra de herramientas.



Fuente: Elaboración propia.

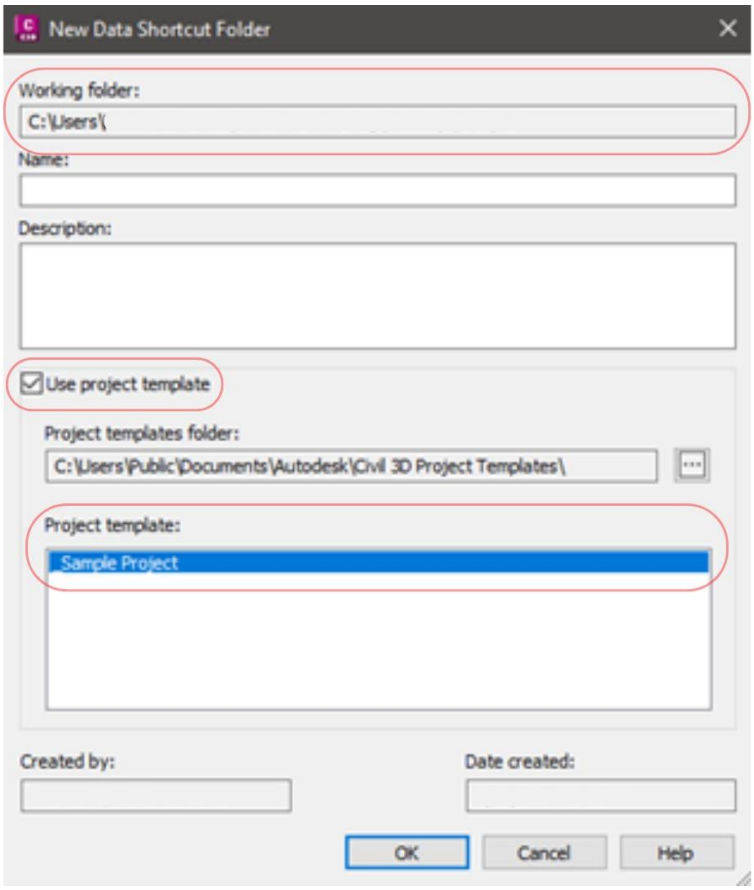
Imagen 25. Creación New Shortcuts Folder.



Fuente: Elaboración propia.

Al hacer clic en "New Shortcuts Folder", se abrirá la pestaña correspondiente, donde se procederá a seleccionar la ubicación para crear las carpetas necesarias. En la sección "Working folder", se especifica la carpeta de trabajo en ACC. Además, se elige la plantilla deseada marcando la casilla "Use project template" y seleccionando la plantilla predeterminada en Civil 3D denominada "Sample Project", como se muestra en la siguiente imagen:

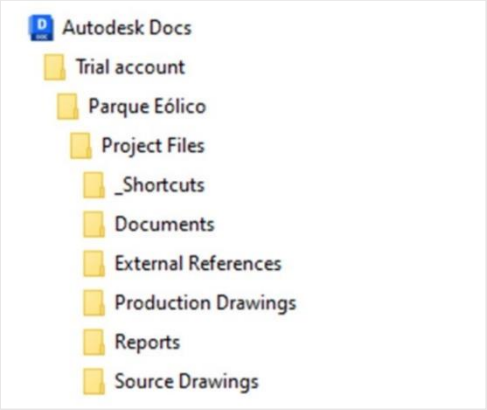
Imagen 26. Ventana New Data Shortcut Folder.



Fuente: Elaboración propia.

Este procedimiento asegura una configuración precisa de las carpetas de trabajo en ACC, empleando la plantilla estándar de Civil 3D. Esta práctica facilita una estructura organizativa eficaz y uniforme para el proyecto en cuestión. El resultado de este proceso se ilustra a continuación:

Imagen 27. Vista carpetas de trabajo en ACC.



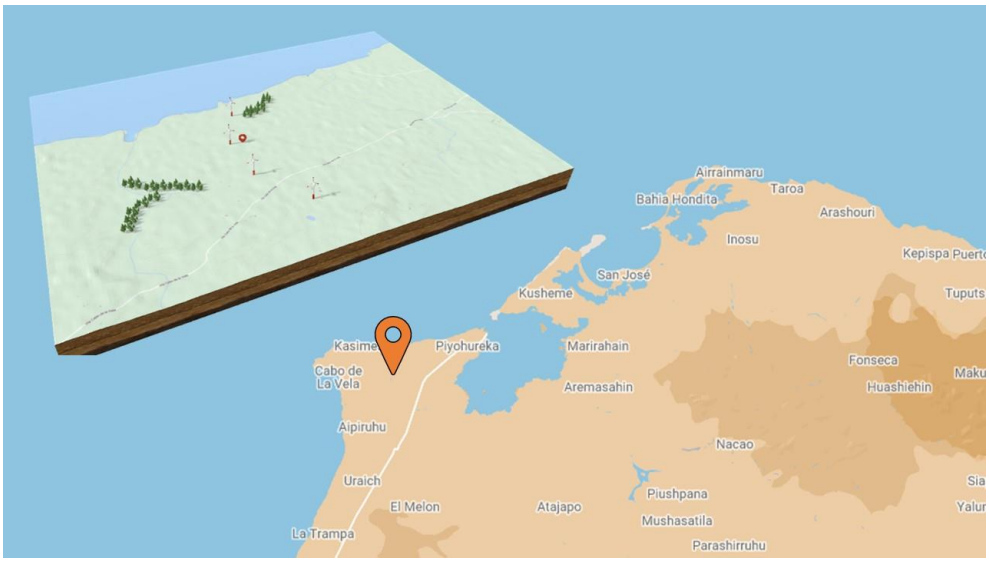
Fuente: Elaboración propia.

Después de crear las carpetas de trabajo, se recomienda organizar los distintos elementos del proyecto en las carpetas correspondientes, siguiendo la estructura establecida anteriormente.

Diseño Inicial

Basándose en el primer capítulo de esta monografía, donde se destacó que el departamento de La Guajira es un punto estratégico y favorable para la ubicación de parques eólicos, se ha decidido trabajar en un ejemplo de diseño en esta región. La elección se fundamenta en el hecho de que La Guajira ya ha sido objeto de estudio y desarrollo de proyectos de parques eólicos en Colombia, como el Parque Eólico Jepirachi y el Parque Eólico Guajira I, situados cerca del Cabo de la Vela y Puerto Bolívar. A continuación se muestra la ubicación del ejemplo de diseño:

Imagen 28. Vista ubicación del ejemplo de diseño.



Fuente: Elaboración propia.

Para facilitar la comprensión y dimensionamiento de un parque eólico en Colombia, se expone el Parque Eólico Jepirachi el cual ocupa un área de 165 hectáreas localizadas en el municipio de Uribia, entre Puerto Bolívar y el Cabo de la Vela, fue pensado para alojar 15 aerogeneradores con una capacidad de 19,5 megavatios (Peláez, 2023) y se visualiza de la siguiente manera:

Imagen 29. Central eólica Jepírachi.

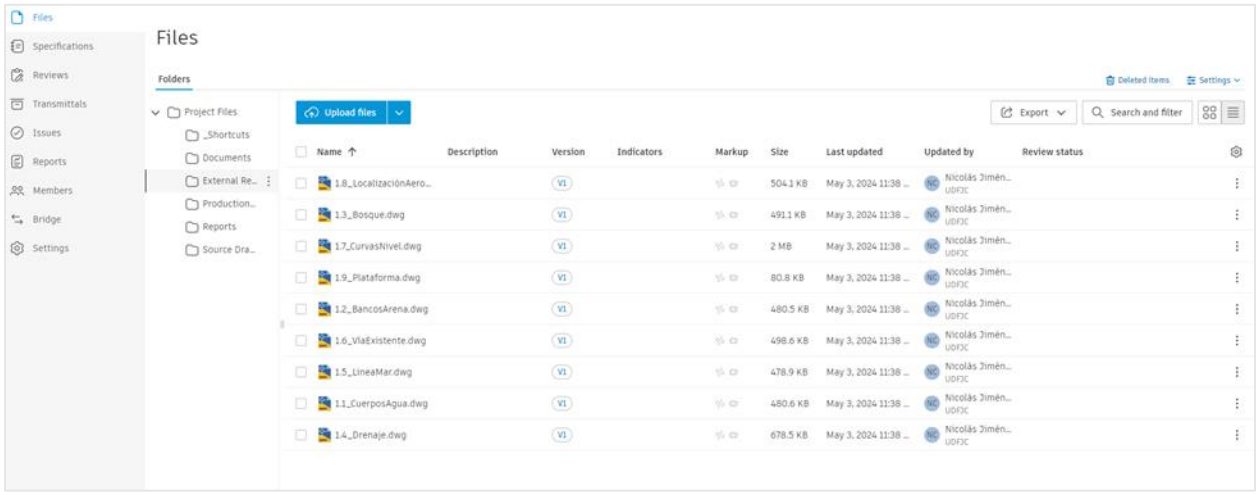


Fuente: Peláez, J. B. (2023).

Retornando al ejemplo, se plantea ubicar cuatro aerogeneradores aleatoriamente que comprendan algunas variaciones en el terreno, lo cual se realiza de manera estratégica para tener distintas representaciones de modelos de plataformas y carreteras en el proyecto. Cabe resaltar que, todos los insumos utilizados corresponderán a la zona señalada.

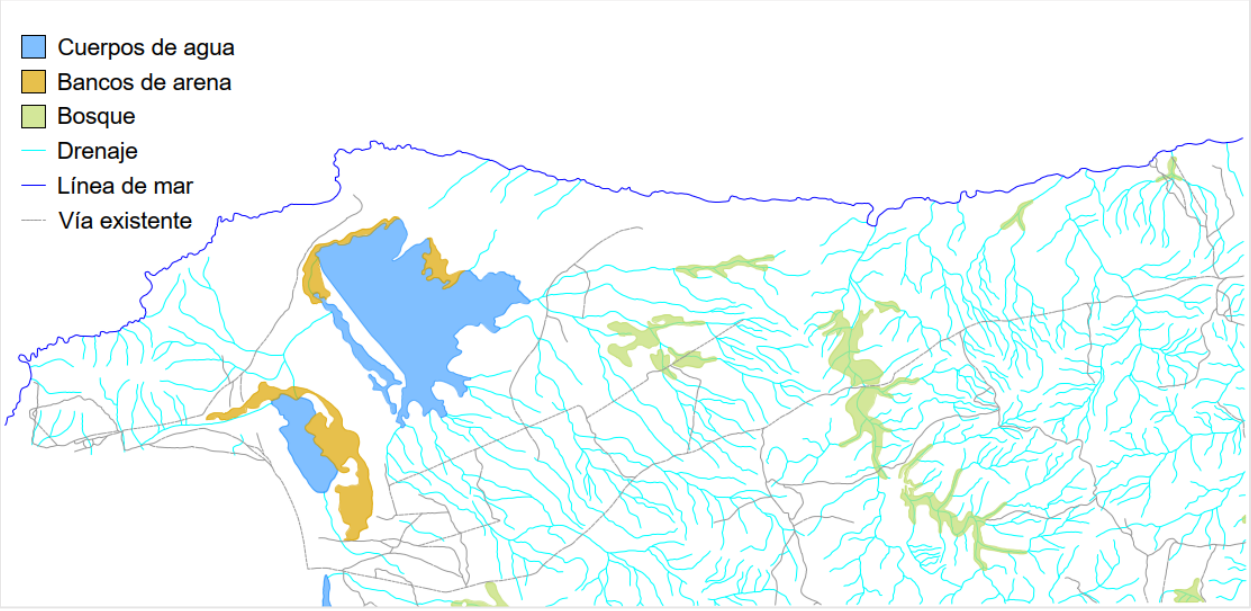
Siguiendo lo expuesto en el capítulo 2 de este documento, donde se detallaron los datos geoespaciales e iniciales esenciales para el diseño de plataformas de aerogeneradores y sus respectivas carreteras, se opta por importar e identificar puntos y áreas de trabajo como referencias externas para mayor comodidad durante el diseño. Los tipos de insumos utilizados en este ejemplo se presentan a continuación:

Imagen 30. Insumos cargados en el ACC.



Fuente: Elaboración propia.

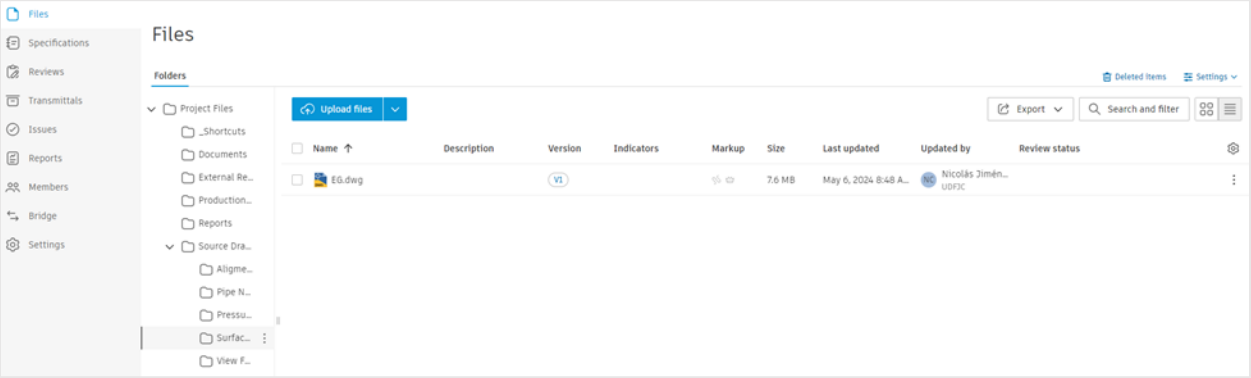
Imagen 31. Vista puntos y áreas de trabajo importados.



Fuente: Elaboración propia.

Tras la importación de los puntos y áreas de trabajo, se procede a la creación del archivo fuente, el cual incluirá, en primera instancia, la superficie del terreno natural de la zona de trabajo.

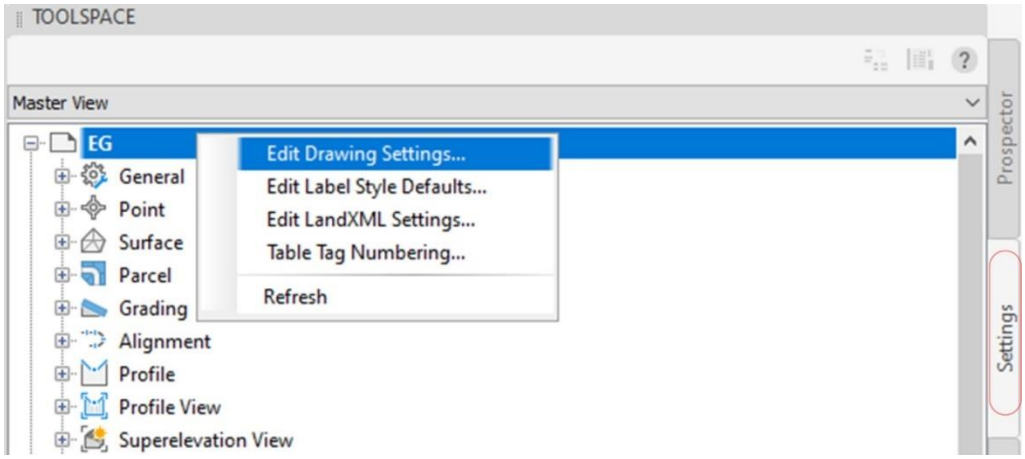
Imagen 32. Archivo de superficie inicial en el ACC.



Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda configurar el sistema de coordenadas en el que se esté trabajando para garantizar una importación exitosa de archivos en la ubicación correcta. Para ello, en el espacio "Tool Space", se elige "Settings", y luego, se hace clic derecho en la superficie, optando por la primera opción "Edit Drawing Settings", como se muestra en la siguiente imagen:

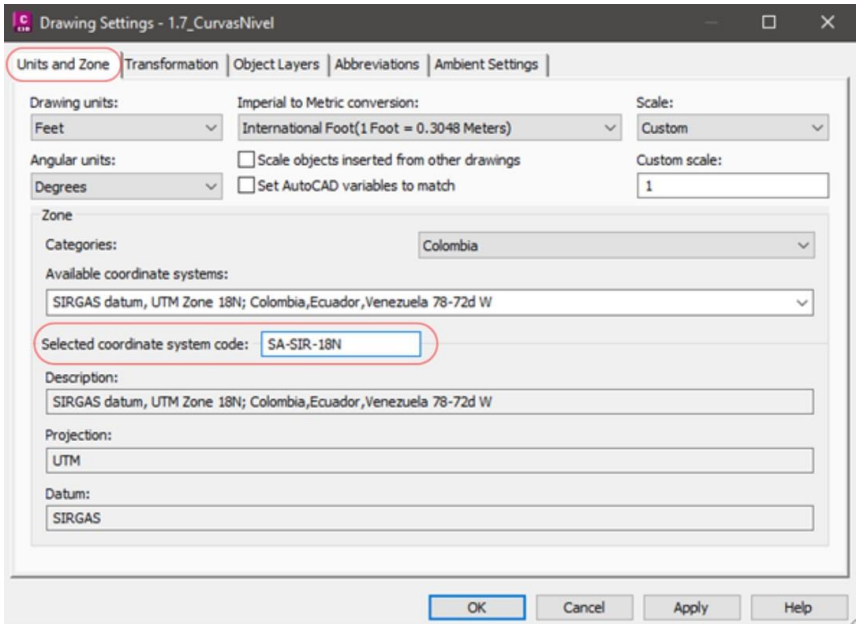
Imagen 33. Configuración superficie inicial.



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar "Edit Drawing Settings", se abrirá la pestaña correspondiente, permitiendo la edición del sistema de coordenadas empleado, como se ilustra en la siguiente imagen:

Imagen 34. Ajuste sistema de coordenadas.



Fuente: Elaboración propia.

Este archivo alojará la superficie generada a partir de las curvas de nivel de la zona de emplazamiento del proyecto. Se sugiere restringir la extensión de la superficie únicamente a la

zona donde se llevará a cabo el proyecto. Esto facilitará el proceso de diseño y evitará la sobrecarga de datos en el software con áreas que no se utilizarán realmente.

Imagen 35. Vista planta superficie inicial.



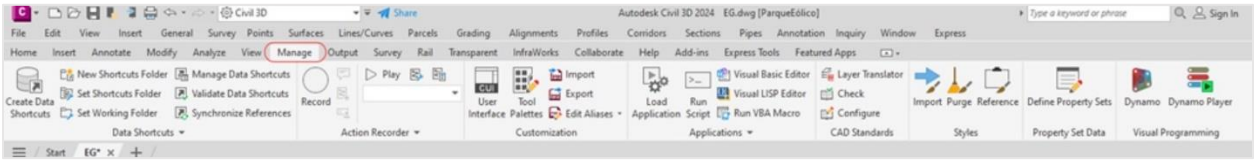
Fuente: Elaboración propia.

La imagen 34 muestra la vista en planta de la superficie inicial del terreno utilizada como ejemplo para el diseño de las plataformas de los aerogeneradores y sus carreteras. Es

fundamental destacar que la distancia de altura entre cada curva de nivel es de 5 metros, y la diferencia de altura entre la cota más alta y la más baja oscila entre 20 y 25 metros. Dada esta variación en la altura, es crucial plantear el diseño de manera que optimice el movimiento de tierras.

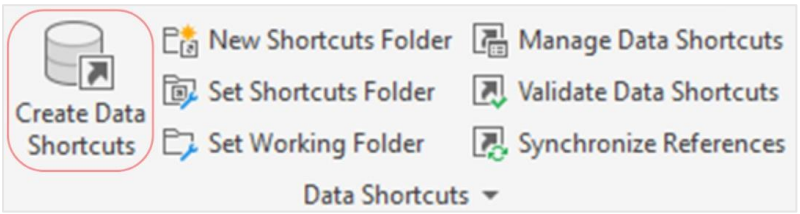
Una vez obtenida la versión final de la superficie, se procede a generar el Data Shortcut correspondiente a este recurso. Esto permitirá trabajar con él de manera eficiente en los archivos de modelo del proyecto. Para ello, se ubica nuevamente la pestaña "Manage" en la barra de herramientas de Autodesk Civil 3D y se selecciona "Create Data Shortcuts", tal como se muestra en las siguientes imágenes:

Imagen 36. Pestaña "Manage" en la barra de herramientas.



Fuente: Elaboración propia.

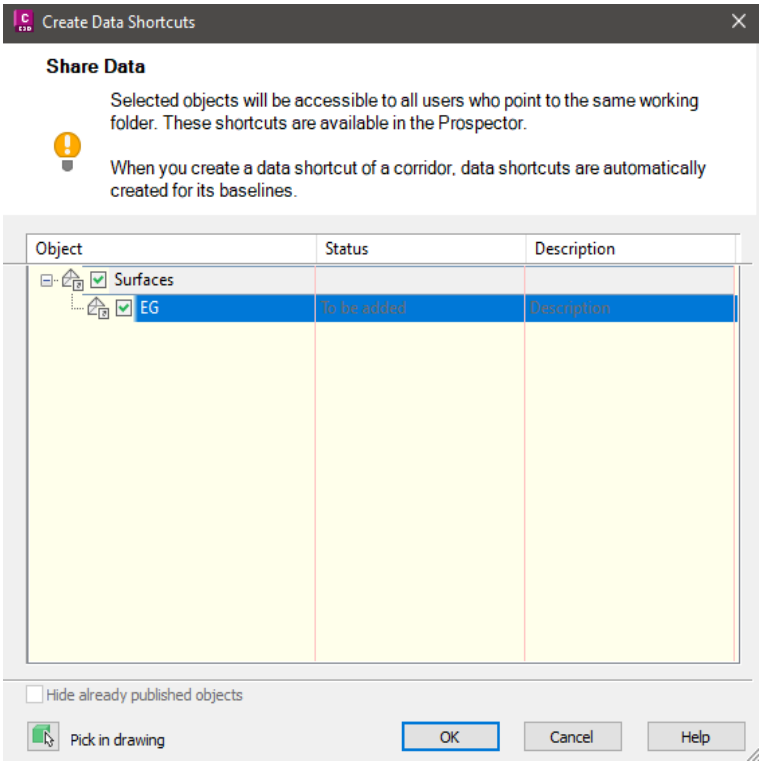
Imagen 37. Creación Data Shortcuts.



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar "Create Data Shortcuts", se abre la pestaña correspondiente, donde se procede a elegir la superficie que se convertirá en el Data Shortcut, tal como se muestra en la siguiente imagen:

Imagen 38. Configuración creación Data Shortcut.

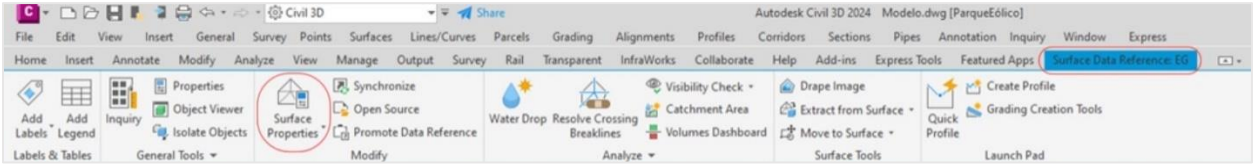


Fuente: Elaboración propia.

Tras finalizar la creación del Data Shortcut para la superficie de trabajo, se procede con el análisis del terreno, una etapa crucial en el diseño del parque eólico. Este análisis implica evaluar las pendientes, dado que, como se ha discutido anteriormente en la monografía, las plataformas y las carreteras del parque requieren de pendientes específicas.

El primer paso para realizar este análisis es seleccionar la superficie. Al hacerlo, se activa la pestaña "Surface Data Reference" en la barra de herramientas. Esta pestaña se selecciona y, dentro de sus opciones, se elige "Surface Properties", como se muestra en la siguiente imagen:

Imagen 39. Selección propiedades de superficie.

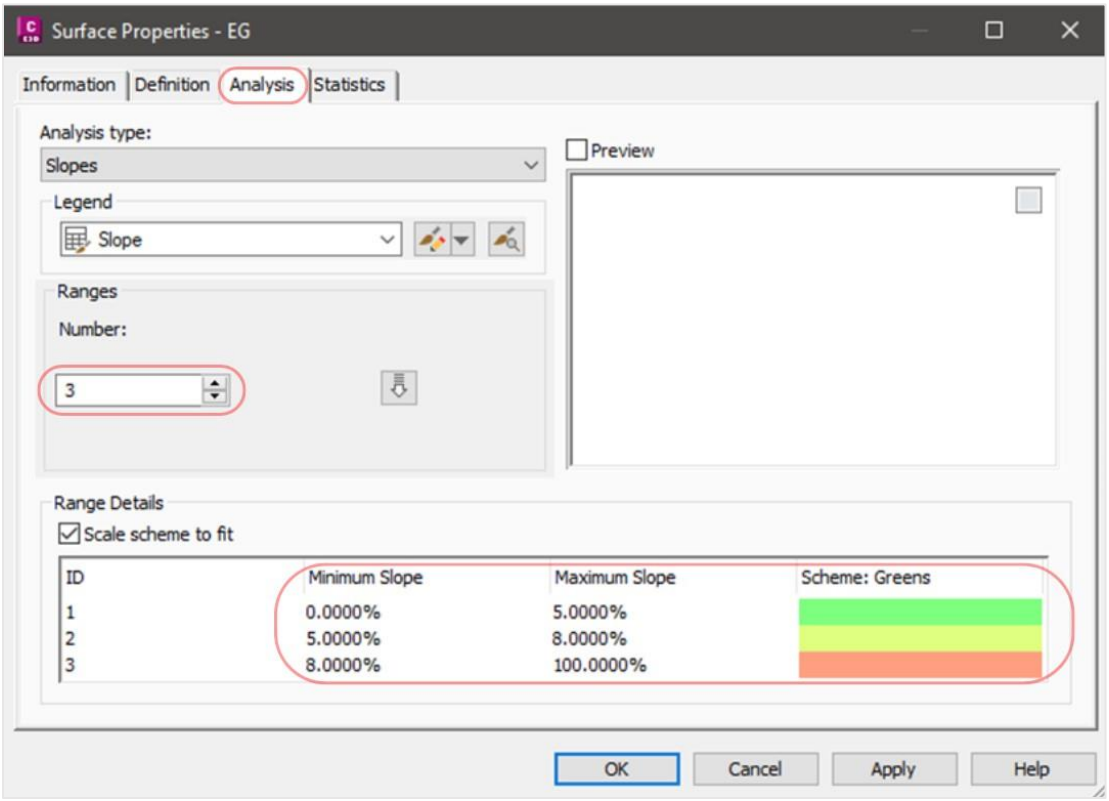


Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar "Surface Properties", se abre la ventana correspondiente, donde se accede a la pestaña "Analysis". En esta pestaña, se define el número de rangos de pendientes que se desean editar. Para este ejemplo, se utilizarán 3 rangos. Una vez establecido el número de rangos, se procede a editar los valores de cada rango y el color de preferencia en la tabla inferior.

Para este caso en particular, se opta por seleccionar 3 rangos debido a la existencia de dos tipos de pendientes: curvas con un máximo del 5% y tramos rectos con un máximo del 8%, tal como se detalló en el segundo capítulo de esta monografía (Consultar tabla 6). De esta manera, se ajustan los intervalos correspondientes en la tabla ubicada en la parte inferior de la ventana, para delinear las áreas donde las pendientes se sitúan dentro y fuera de estos límites establecidos. Los pasos descritos anteriormente se pueden visualizar en la siguiente imagen:

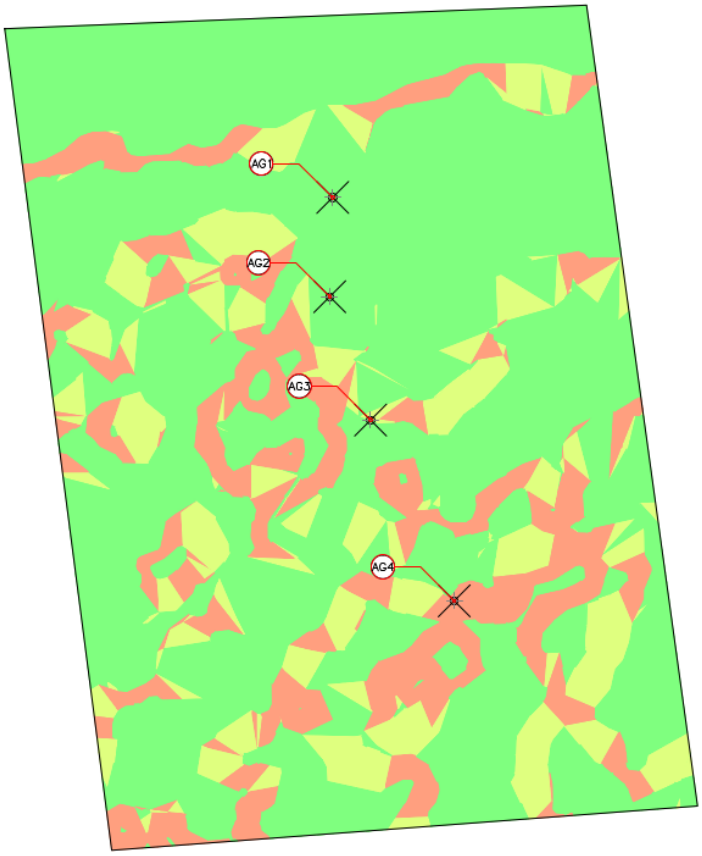
Imagen 40. Edición propiedades de superficie.



Fuente: Elaboración propia.

Al concluir el paso anterior, se avanza con el análisis de la superficie del terreno. Este procedimiento es crucial para identificar las áreas propicias para trazar las carreteras y para determinar la orientación óptima de las plataformas de los aerogeneradores, considerando su ubicación. El objetivo primordial de este análisis es reducir al mínimo el movimiento de tierras.

Imagen 41. Vista plano y cuadro de pendientes del terreno.



Slopes Table

Number	Minimum Slope	Maximum Slope	Area	Color
1	0.00%	5.00%	496201.11	
2	5.00%	8.00%	109837.82	
3	8.00%	100.00%	125738.98	

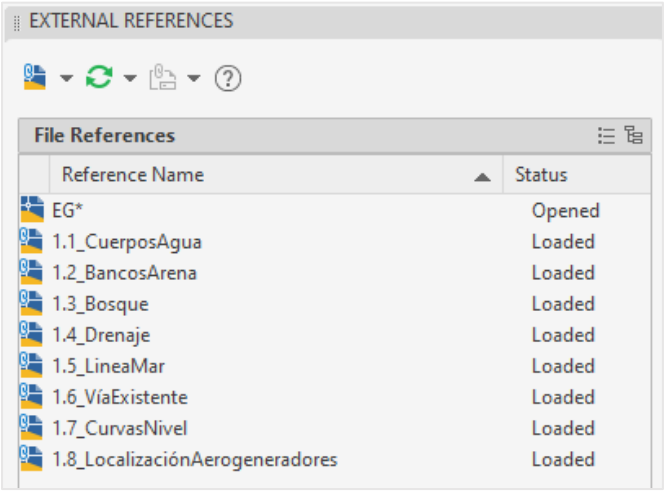
Fuente: Elaboración propia.

Diseño y Modelación de Plataformas de los Aerogeneradores

Una vez que se han importado y organizado correctamente los insumos iniciales del proyecto, el siguiente paso es iniciar el proceso de diseño y modelado de las plataformas de los aerogeneradores. Para comenzar, se crea un archivo de trabajo para el primer elemento a diseñar, que en este caso es el modelo de las plataformas. Es importante sintetizar los insumos y la

superficie para considerar todas las posibles interferencias, para ello se traen las referencias externas de la siguiente manera:

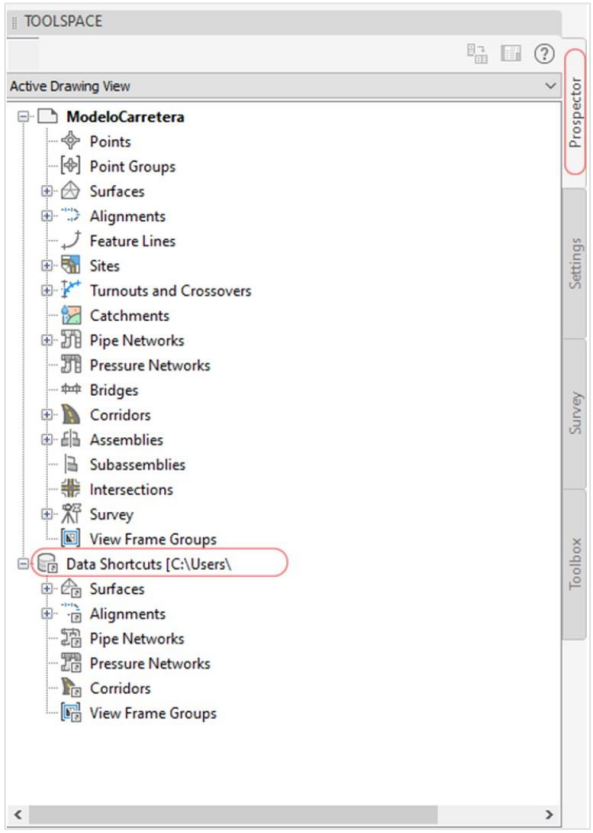
Imagen 42. Integración referencias externas.



Fuente: Elaboración propia.

En el espacio "Tool Space", se selecciona "Prospector", y se incorpora al archivo inicial el Data Shortcuts, como se muestra en la siguiente imagen:

Imagen 43. Incorporación del archivo de la superficie inicial al Data Shortcut.



Fuente: Elaboración propia.

Seguido de ello, se despliega el Data Shorcuts y se da clic derecho en la superficie, allí se elige la primer opción “Create Reference” y se selecciona.

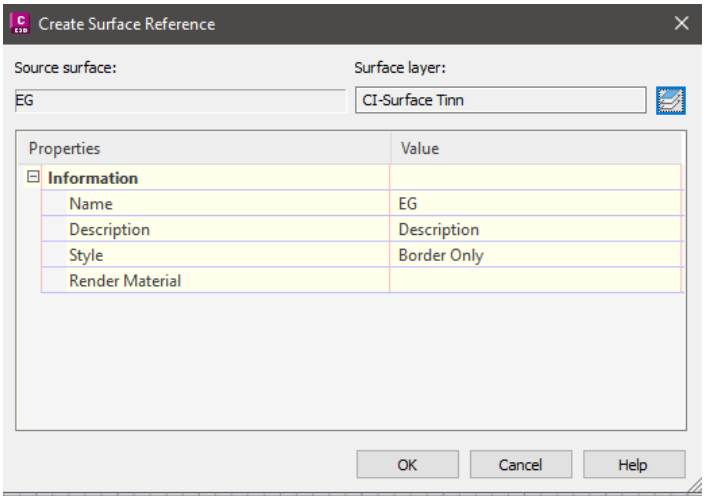
Imagen 44. Creación referencia de la superficie inicial.



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar "Create Reference", se abre la ventana correspondiente, permitiendo crear la referencia de la superficie, como se ilustra en la siguiente imagen:

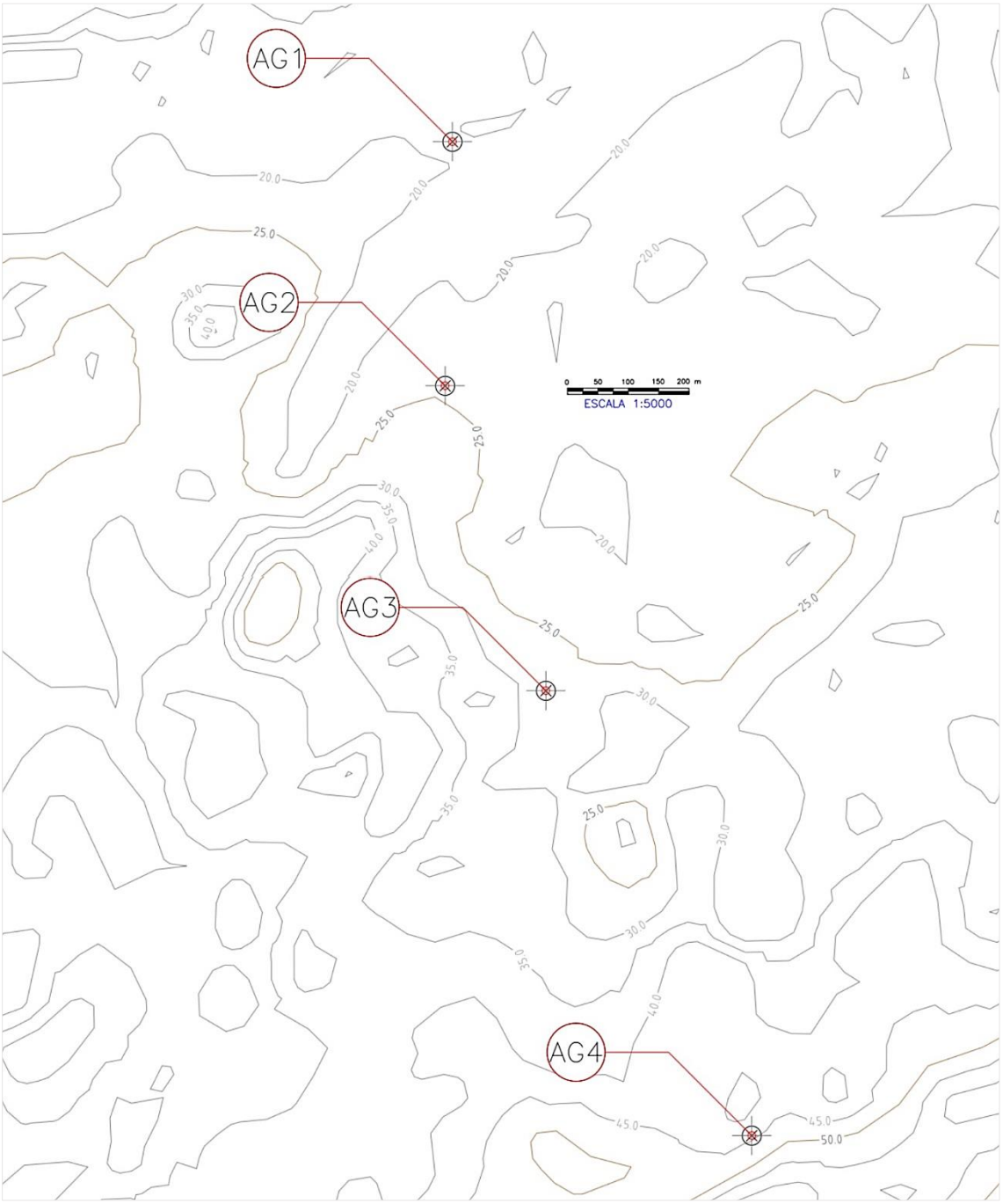
Imagen 45. Configuración creación referencia de la superficie inicial.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de crear la referencia de la superficie, se puede visualizar de la siguiente manera:

Imagen 46. Vista planta superficie y puntos de ubicación de los aerogeneradores.

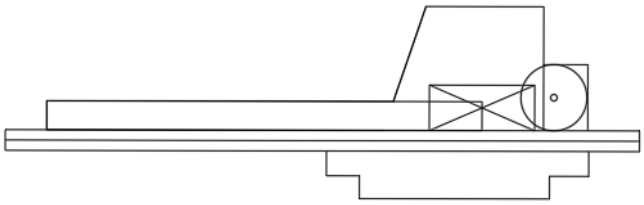


Fuente: Elaboración propia.

Después de finalizar el procedimiento anterior, se procede a establecer un bloque de referencia para la plataforma que será implementada en el proyecto. Se recomienda esta práctica para optimizar el proceso de modelado de las plataformas en el terreno. Para ello, es necesario

estar familiarizado y manejar el diseño adecuado según el tipo de aerogenerador del proyecto. En este caso, el diseño específico que se empleará como ejemplo es el siguiente:

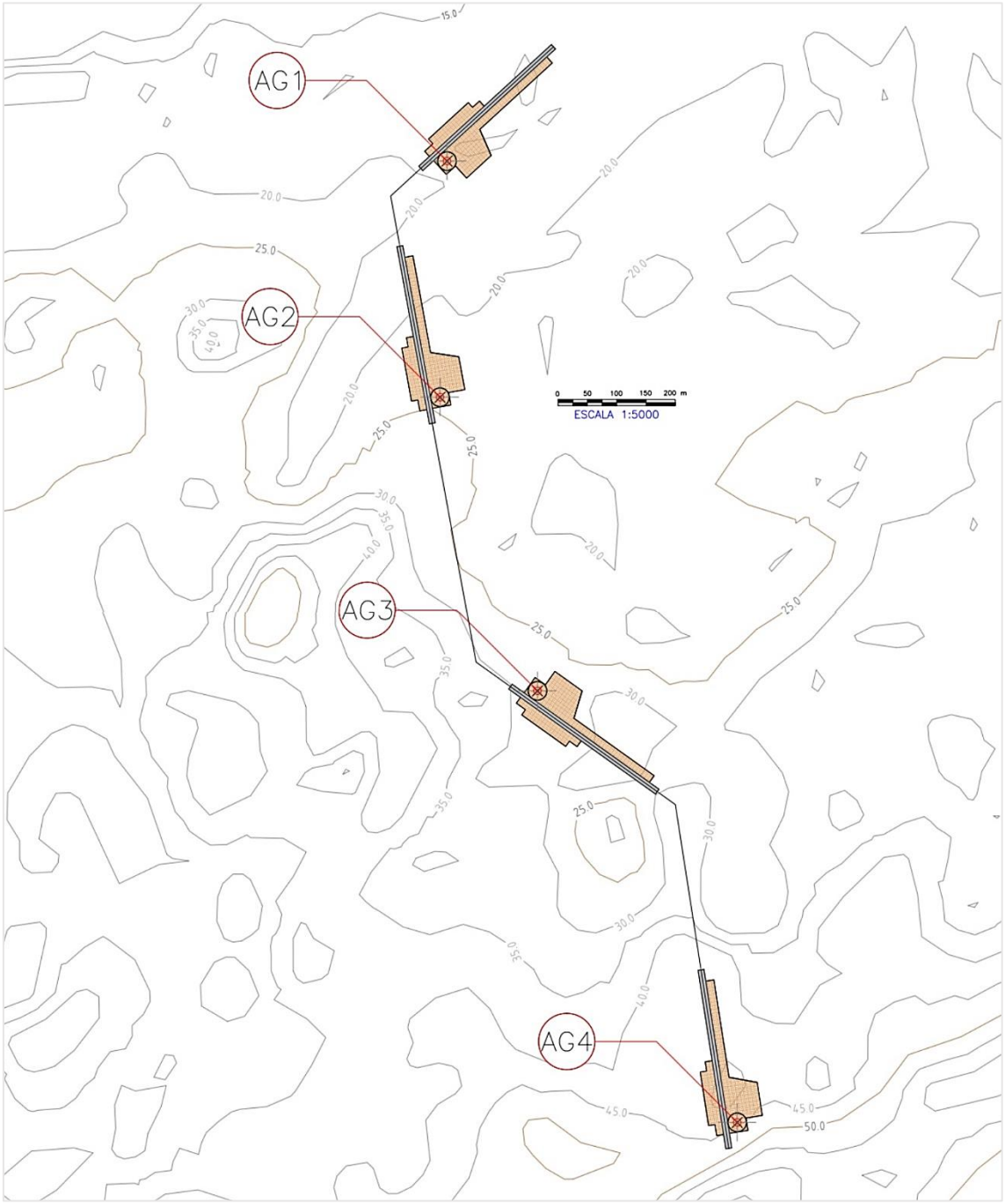
Imagen 47. Bloque de referencia del diseño de la plataforma de los aerogeneradores.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la topografía del área, es esencial que se ubiquen las plataformas en sus posiciones correspondientes. Es importante recordar que la ubicación de los aerogeneradores ya ha sido importada y sintetizada como parte de los insumos del proyecto. El objetivo del diseñador civil es colocar las plataformas en la dirección adecuada, considerando la minimización del movimiento de tierras y asegurando un diseño óptimo para las carreteras de conexión. De acuerdo con lo anterior, la ubicación y orientación de las plataformas se visualiza de la siguiente manera:

Imagen 48. Vista superficie con la ubicación de las plataformas de aerogeneradores.



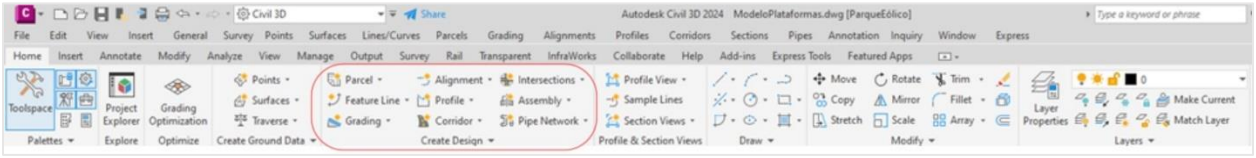
Fuente: Elaboración propia.

Tras determinar la ubicación y orientación de las plataformas, como se detalló previamente, se procede con la creación de la "Feature line". Esta función es fundamental para diseñar las elevaciones y pendientes de las plataformas. El nivel de detalle en el diseño dependerá de los

requisitos específicos del proyecto, por lo que se recomienda elaborar una silueta de la plataforma que se adapte a los elementos esenciales.

De acuerdo con lo anterior para crear la "Feature line", se debe ubicar la pestaña "Home" en la barra de herramientas de Autodesk Civil 3D y visualizar el grupo de opciones señalado en la siguiente imagen:

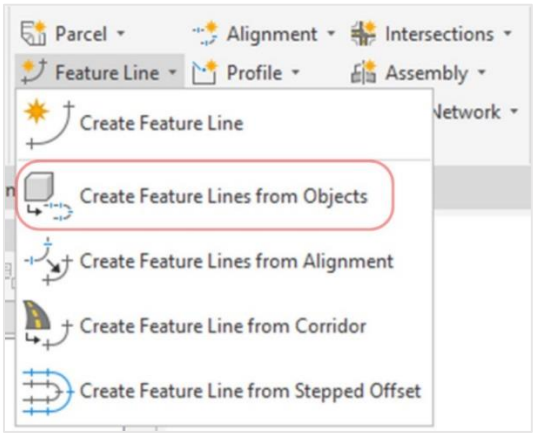
Imagen 49. Opciones "Create design" en la pestaña "Home".



Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificado el grupo de herramientas, se selecciona “Feature Line”, se despliega una lista de opciones en donde se elige “Create Feature Lines from Objects” como se muestra a continuación:

Imagen 50. Seleccionar Create Feature Lines from Objects".

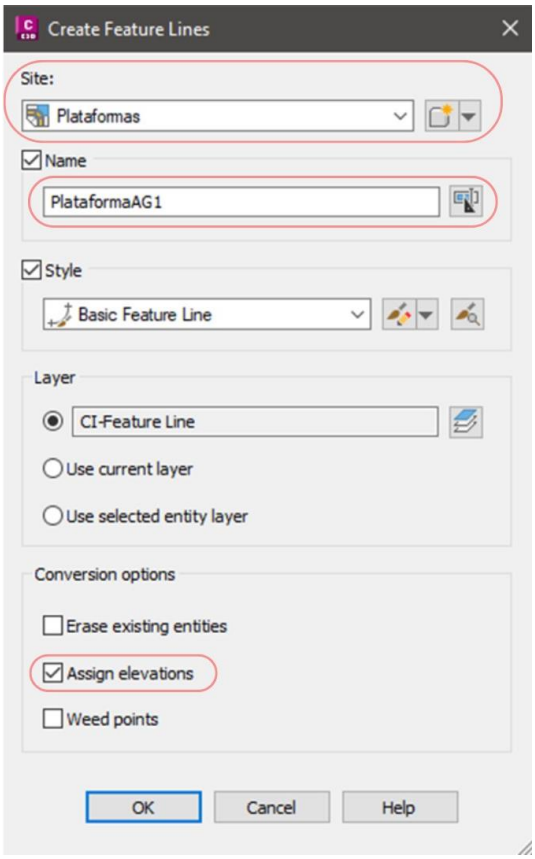


Fuente: Elaboración propia.

Después de seleccionar la opción "Create Feature Lines from Objects", se abre la ventana correspondiente donde se crea el sitio "Plataformas" para organizar los elementos modelados. Se asigna un nombre a la Feature Line y se activa la casilla "Assign elevations". Para facilitar la

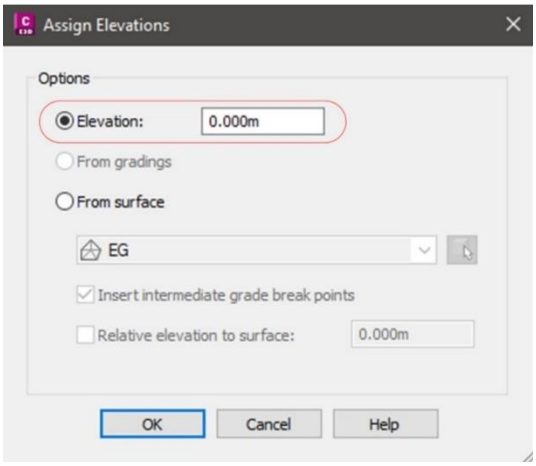
introducción de información de la plataforma, se asigna una elevación constante, en este caso, 0 metros, como se ilustra en las imágenes siguientes.

Imagen 51. Configuración creación "Feature Line".



Fuente: Elaboración propia.

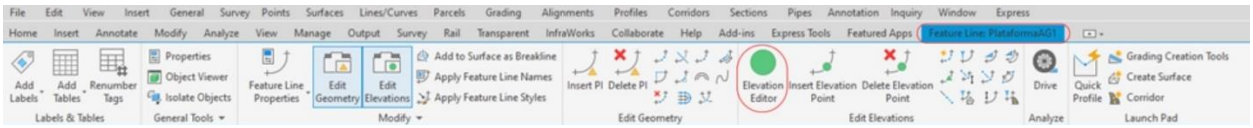
Imagen 52. Asignación elevaciones "Feature Line".



Fuente: Elaboración propia.

Después de completar los pasos mencionados anteriormente, se procede a seleccionar la Feature Line. A continuación, en la barra de herramientas de Autodesk Civil 3D, se encuentra la pestaña "Feature Line", donde se selecciona la opción "Elevation Editor", como se ejemplifica en la siguiente imagen.

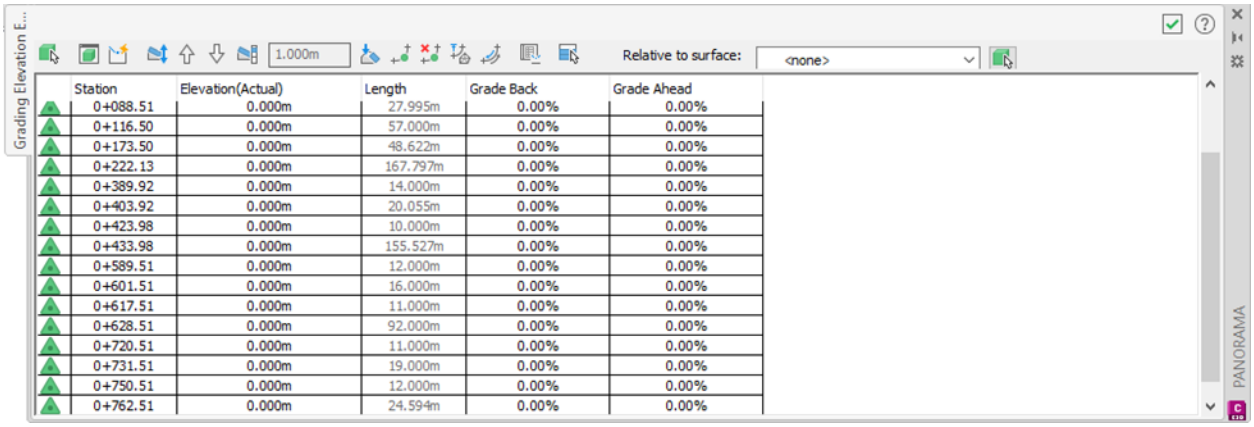
Imagen 53. Selección "Elevation Editor".



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar la opción "Elevation Editor", se despliega la ventana "Grading Elevation", la cual permite analizar las pendientes de las plataformas de manera detallada.

Imagen 54. Análisis pendientes de la plataforma a través de la ventana "Grading Elevation".



Station	Elevation(Actual)	Length	Grade Back	Grade Ahead
0+088.51	0.000m	27.995m	0.00%	0.00%
0+116.50	0.000m	57.000m	0.00%	0.00%
0+173.50	0.000m	48.622m	0.00%	0.00%
0+222.13	0.000m	167.797m	0.00%	0.00%
0+389.92	0.000m	14.000m	0.00%	0.00%
0+403.92	0.000m	20.055m	0.00%	0.00%
0+423.98	0.000m	10.000m	0.00%	0.00%
0+433.98	0.000m	155.527m	0.00%	0.00%
0+589.51	0.000m	12.000m	0.00%	0.00%
0+601.51	0.000m	16.000m	0.00%	0.00%
0+617.51	0.000m	11.000m	0.00%	0.00%
0+628.51	0.000m	92.000m	0.00%	0.00%
0+720.51	0.000m	11.000m	0.00%	0.00%
0+731.51	0.000m	19.000m	0.00%	0.00%
0+750.51	0.000m	12.000m	0.00%	0.00%
0+762.51	0.000m	24.594m	0.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

Ajuste Elevaciones Plataformas

Para iniciar el ajuste de las elevaciones de las plataformas, se debe comenzar por identificar la elevación inicial de trabajo. Esto se logra localizando un vértice de la plataforma, preferiblemente en su centro, y determinando la elevación de la superficie en ese punto específico del terreno. A continuación, en la pestaña "Feature Line" se selecciona el icono

correspondiente para insertar una etiqueta de elevación y se crea un objeto de referencia con la misma elevación. Para este ejemplo, se utiliza un valor de elevación de 20 para la etiqueta.

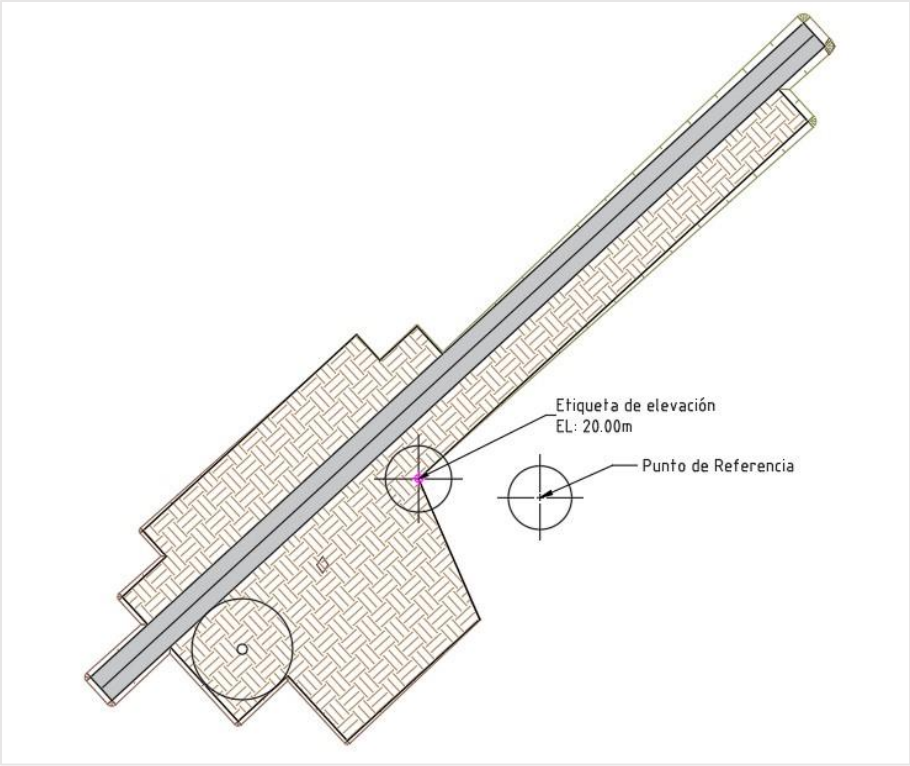
Imagen 55. Selección ícono editor de la etiqueta de elevación de la plataforma.



Fuente: Elaboración propia.

Después de eso, se emplea la herramienta señalada en la imagen para ajustar la elevación de la Feature Line de la plataforma según sea necesario. Una vez introducido el comando, se procede a seleccionar el punto de la plataforma identificado previamente con la etiqueta.

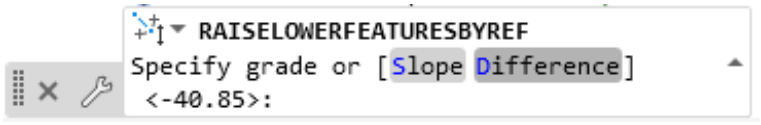
Imagen 56. Vista punto de etiqueta de elevación vs. punto de referencia.



Fuente: Elaboración propia.

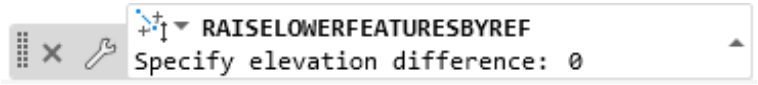
Al seleccionar este punto de la plataforma con la etiqueta, en la barra de comandos se elige la opción "Difference" para indicar la discrepancia de elevación entre el punto de referencia y el vértice de la plataforma identificado. Esta discrepancia debe ser cero, dado que la plataforma en ese punto debe mantener la misma elevación que la referencia, es decir, el terreno.

Imagen 57. Seleccionar "Difference" para ajustar la diferencia de altura.



Fuente: Elaboración propia.

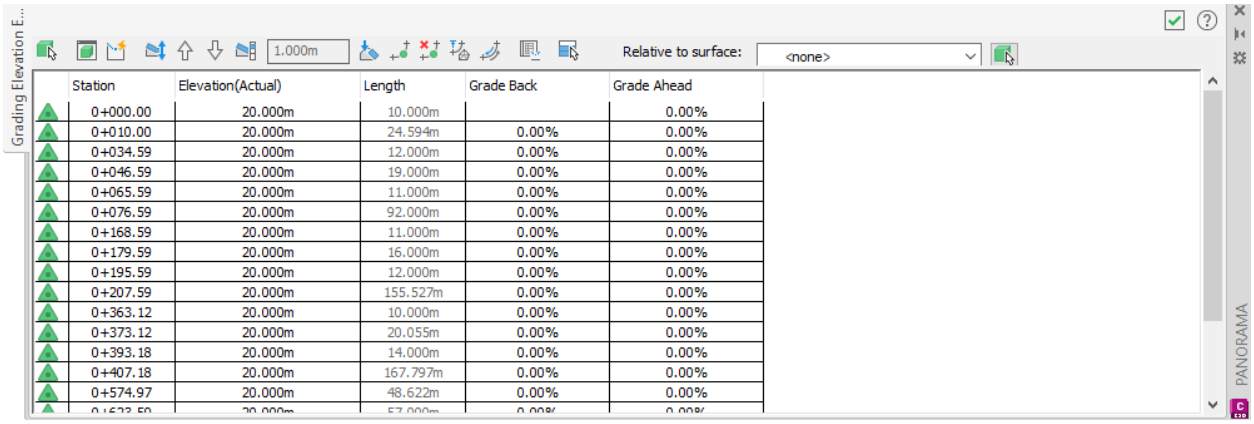
Imagen 58. Digitar cero como diferencia de altura.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez completados los pasos mencionados, la nueva elevación de la plataforma se puede observar en la ventana "Grading Elevation", tal como se ilustra en la imagen siguiente.

Imagen 59. Verificación altura uniforme en la "Feature Line" de la plataforma.



Station	Elevation(Actual)	Length	Grade Back	Grade Ahead
0+000.00	20.000m	10.000m		0.00%
0+010.00	20.000m	24.594m	0.00%	0.00%
0+034.59	20.000m	12.000m	0.00%	0.00%
0+046.59	20.000m	19.000m	0.00%	0.00%
0+065.59	20.000m	11.000m	0.00%	0.00%
0+076.59	20.000m	92.000m	0.00%	0.00%
0+168.59	20.000m	11.000m	0.00%	0.00%
0+179.59	20.000m	16.000m	0.00%	0.00%
0+195.59	20.000m	12.000m	0.00%	0.00%
0+207.59	20.000m	155.527m	0.00%	0.00%
0+363.12	20.000m	10.000m	0.00%	0.00%
0+373.12	20.000m	20.055m	0.00%	0.00%
0+393.18	20.000m	14.000m	0.00%	0.00%
0+407.18	20.000m	167.797m	0.00%	0.00%
0+574.97	20.000m	48.622m	0.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de ajuste de elevaciones se debe repetir para cada plataforma del proyecto, ya que la elevación de cada plataforma varía según su ubicación y orientación en el terreno.

Ajuste Pendientes Plataformas

Una vez establecidas las elevaciones en cada plataforma, se procede con el ajuste de las pendientes. Como se explicó en el capítulo 2 de esta monografía, las plataformas tienen un límite máximo de pendiente para asegurar su diseño adecuado y su funcionamiento óptimo en el futuro.

Para ajustar las pendientes, se selecciona "Quick Elevation Edit", una herramienta que se encuentra dentro de las opciones en la pestaña "Feature Line". Este ícono está señalado en la imagen siguiente:

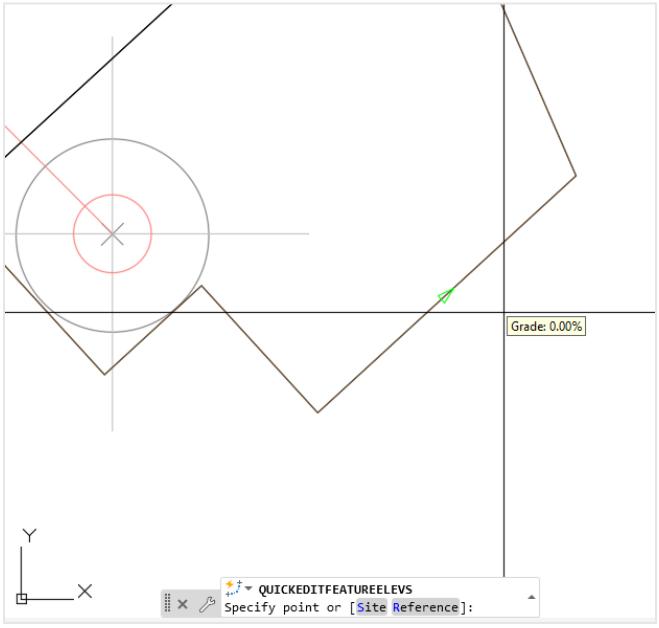
Imagen 60. Seleccionar "Quick Elevation Edit".



Fuente: Elaboración propia.

Después de seleccionar el ícono indicado en la imagen anterior, la barra de comandos solicita la selección del punto de referencia, que es el mismo utilizado para la etiqueta.

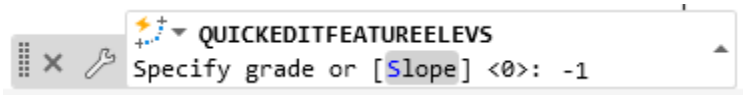
Imagen 61. Seleccionar como punto de referencia el punto de la etiqueta de elevación.



Fuente: Elaboración propia.

Se selecciona el punto de referencia y especifica el grado de pendiente deseado para toda la plataforma.

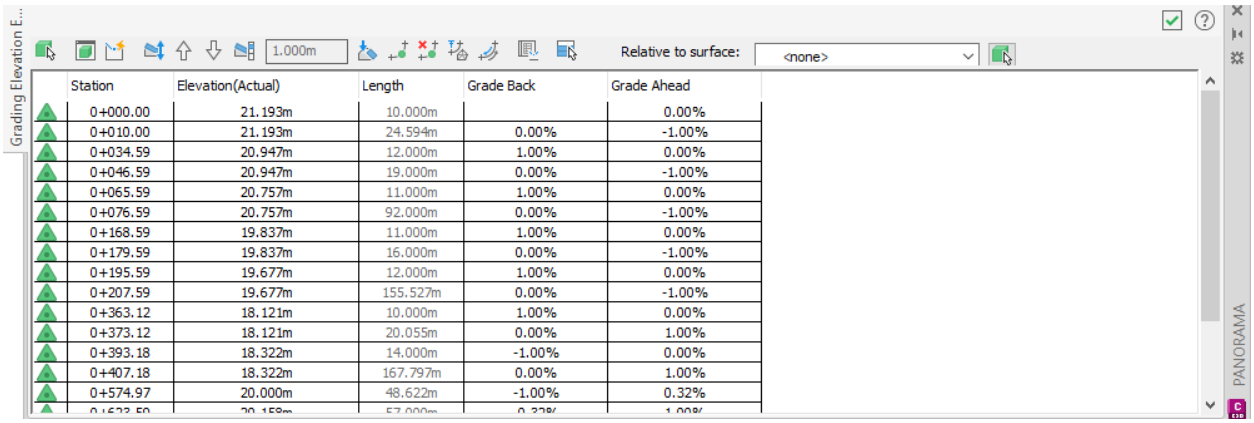
Imagen 62. Digitar el grado de la pendiente de la plataforma.



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el ajuste de las elevaciones de las plataformas, una vez completados los pasos mencionados, la nueva pendiente de la plataforma se puede observar en la ventana "Grading Elevation", como se ilustra en la imagen siguiente.

Imagen 63. Verificación pendiente uniforme en la plataforma.



Station	Elevation(Actual)	Length	Grade Back	Grade Ahead
0+000.00	21.193m	10.000m		0.00%
0+010.00	21.193m	24.594m	0.00%	-1.00%
0+034.59	20.947m	12.000m	1.00%	0.00%
0+046.59	20.947m	19.000m	0.00%	-1.00%
0+065.59	20.757m	11.000m	1.00%	0.00%
0+076.59	20.757m	92.000m	0.00%	-1.00%
0+168.59	19.837m	11.000m	1.00%	0.00%
0+179.59	19.837m	16.000m	0.00%	-1.00%
0+195.59	19.677m	12.000m	1.00%	0.00%
0+207.59	19.677m	155.527m	0.00%	-1.00%
0+363.12	18.121m	10.000m	1.00%	0.00%
0+373.12	18.121m	20.055m	0.00%	1.00%
0+393.18	18.322m	14.000m	-1.00%	0.00%
0+407.18	18.322m	167.797m	0.00%	1.00%
0+574.97	20.000m	48.622m	-1.00%	0.32%

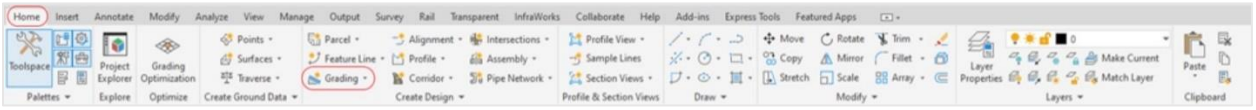
Fuente: Elaboración propia.

Este proceso de ajuste de pendientes debe repetirse para cada plataforma del proyecto, al igual que el ajuste de elevación para cada plataforma. Es importante mantener el mismo valor de pendiente en todas las plataformas para garantizar la uniformidad del diseño.

Creación Superficie Plataformas

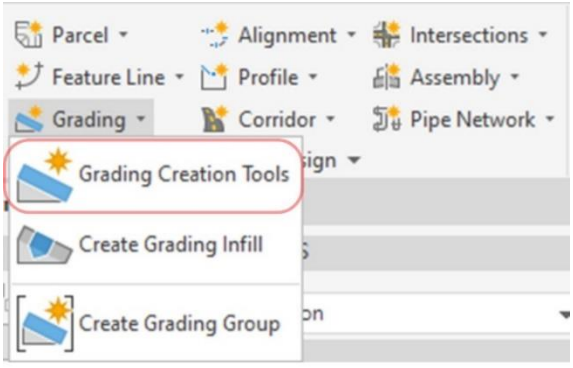
Para continuar con el modelado y diseño de las plataformas, se identifica en la pestaña “Home”, el menú desplegable “Grading”, y allí se selecciona la opción “Grading creation Tools”, como se puede observar en las siguientes imágenes:

Imagen 64. Seleccionar "Grading" en la pestaña "Home".



Fuente: Elaboración propia.

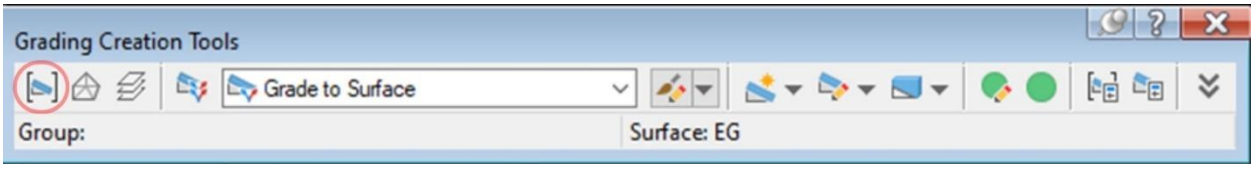
Imagen 65. Seleccionar "Grading creation Tools".



Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionada la opción “Grading creation Tools”, se abre la respectiva ventana en donde se selecciona el primer ícono como se muestra en la imagen:

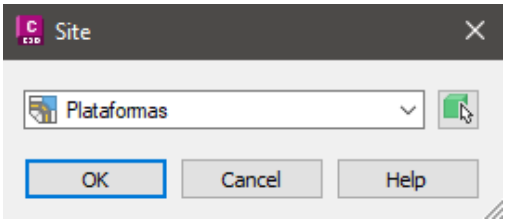
Imagen 66. Seleccionar el primer ícono en la ventana "Grading creation Tools".



Fuente: Elaboración propia.

Al elegir el ícono de la imagen anterior, aparece la pestaña en donde se selecciona el Site creado para las plataformas y en donde se ubican las Feature Lines creadas anteriormente.

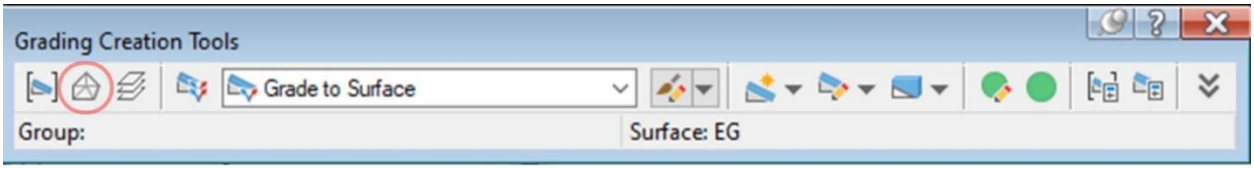
Imagen 67. Seleccionar el site creado donde se aloja lo desarrollado.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionado el Site creado para las plataformas, se elige el segundo ícono de la ventana “Grading creation Tools” como lo indica la siguiente imagen:

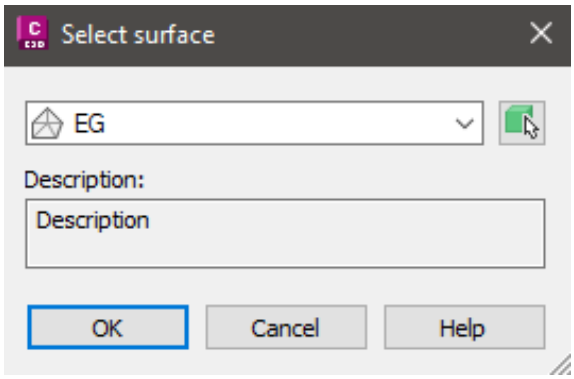
Imagen 68. Seleccionar el segundo ícono en la ventana "Grading creation Tools".



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar el ícono de la imagen anterior, aparece la pestaña en donde se elige la superficie del terreno.

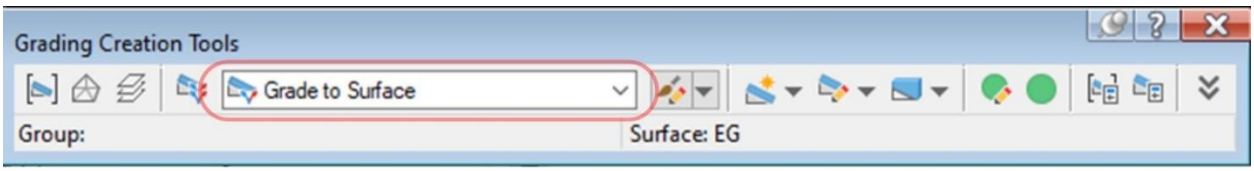
Imagen 69. Seleccionar la superficie trabajada.



Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente se regresa a la ventana “Grading creation Tools” en donde se selecciona “Grade to Surface” como método de grading, como se muestra en la siguiente imagen:

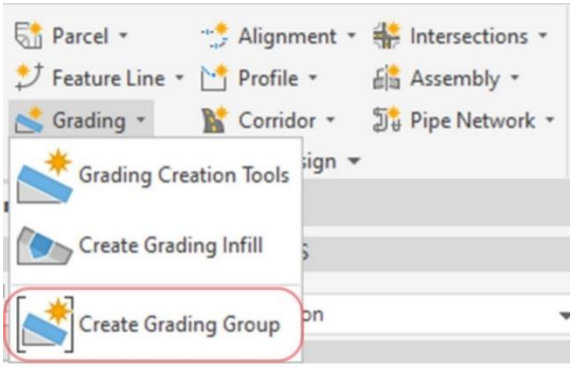
Imagen 70. Seleccionar "Grade to Surface” como método de grading.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizados los pasos anteriormente mencionados, se procede a crear un “Grading Group”, para acoplar las nivelaciones de las plataformas en el mismo elemento, facilitando la creación de la superficie posteriormente.

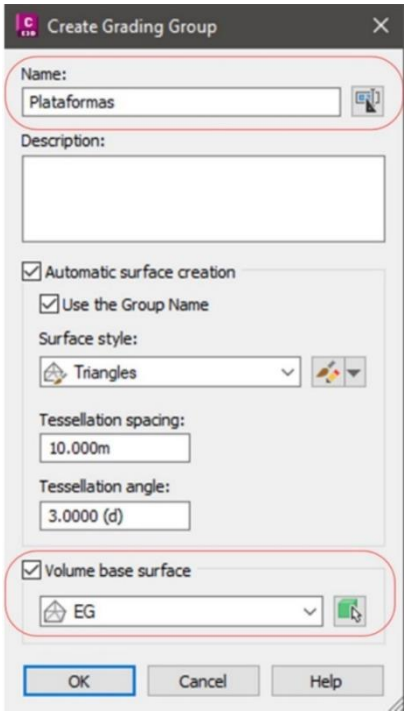
Imagen 71. Seleccionar "Create Grading Group".



Fuente: Elaboración propia.

Al selecciona la opción “Create Grading Group”, aparece la ventana en donde se crea la superficie de las plataformas y se escoge como superficie base la del terreno natural.

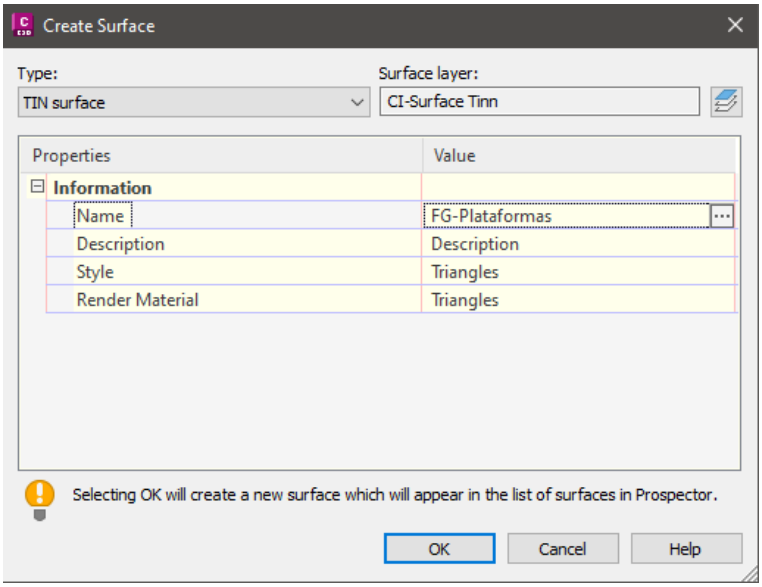
Imagen 72. Configuración en la creación del "Grading Group".



Fuente: Elaboración propia.

Luego de este paso, aparece la ventana en donde finalmente se crea la superficie para las plataformas, allí se edita lo que se prefiera y se selecciona “OK”.

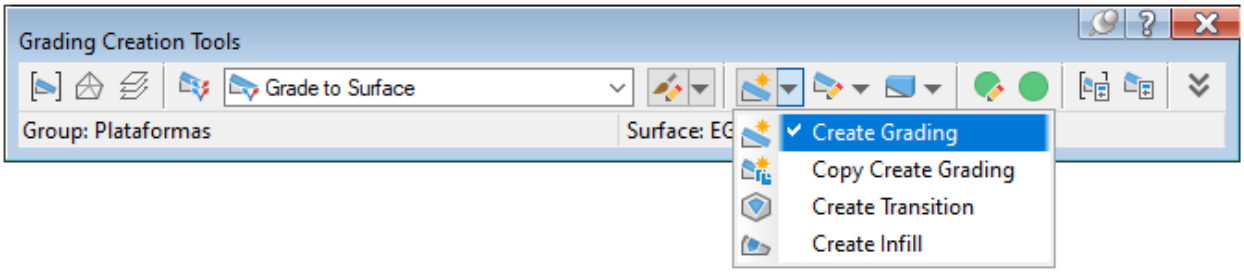
Imagen 73. Creación de la superficie de las plataformas.



Fuente: Elaboración propia.

De nuevo se abre la ventana “Grading Creation Tools” y se selecciona la opción “Create Grading” como se muestra en la siguiente imagen:

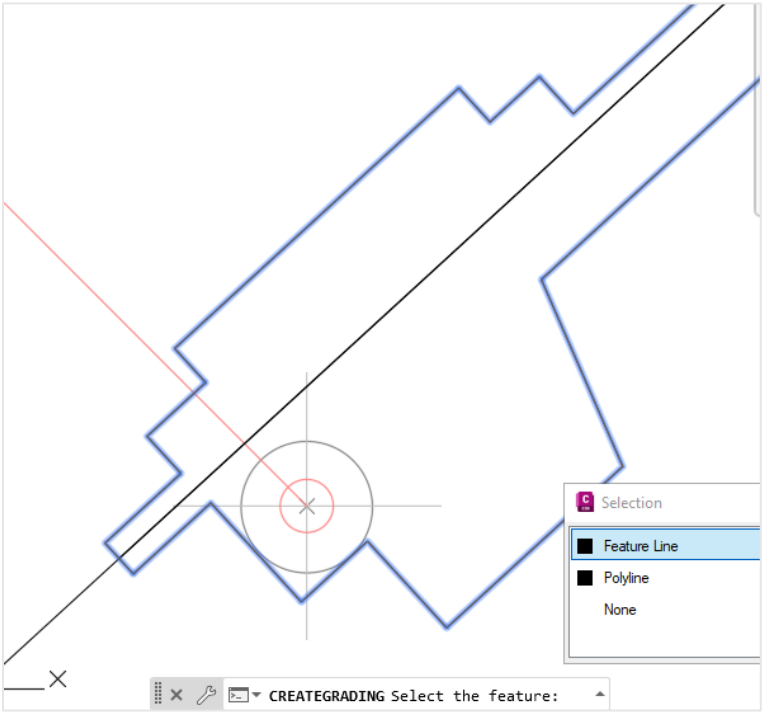
Imagen 74. Seleccionar en la ventana “Grading Creation Tools" la opción "Create Grading".



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar esta opción, el software solicita seleccionar la Feature Line con la cual se realizará la acción, se selecciona la Feature Line de la plataforma como se visualiza en la siguiente imagen:

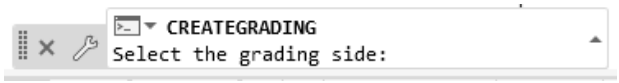
Imagen 75. Seleccionar la Feature Line de la plataforma.



Fuente: Elaboración propia.

Seguido de ello, el software solicita seleccionar el lado de la superficie en la que se realizará el movimiento de tierras, el cual corresponde en este caso al exterior de la plataforma, para seleccionar este lado solo es necesario hacer clic fuera de la plataforma.

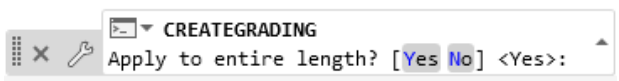
Imagen 76. Seleccionar "Grading side" hacer clic afuera de la plataforma.



Fuente: Elaboración propia.

Luego, el software pregunta si la configuración aplica en toda la Feature Line, para el ejemplo se acepta, pero esto varía de acuerdo con la manera en la que se haya creado la Feature Line de la plataforma.

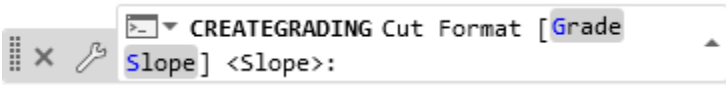
Imagen 77. Aceptar aplicar la configuración en toda la Feature Line.



Fuente: Elaboración propia.

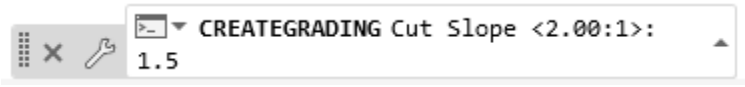
El software solicita elegir el formato del valor de la pendiente de corte del talud, se selecciona “Slope”, luego solicita escribir el valor de esta pendiente, para este ejemplo se asume una pendiente de H1.5:V1. Cabe resaltar que, de acuerdo con lo expuesto en el segundo capítulo de esta monografía, este dato es proporcionado en el informe geotécnico como parte de los insumos del proyecto que se deben tener en cuenta para el respectivo diseño.

Imagen 78. Elegir formato de pendiente de corte "Slope".



Fuente: Elaboración propia.

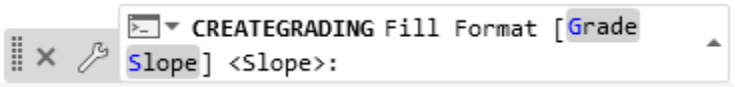
Imagen 79. Digitar pendiente de corte.



Fuente: Elaboración propia.

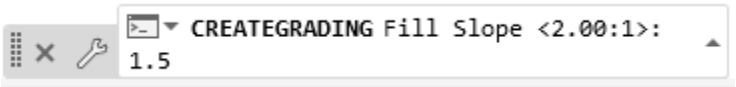
El software solicita repetir el procedimiento anterior, pero esta vez para el valor de la pendiente de relleno del talud, se repite el procedimiento anteriormente mencionado:

Imagen 80. Elegir formato de pendiente de relleno "Slope".



Fuente: Elaboración propia.

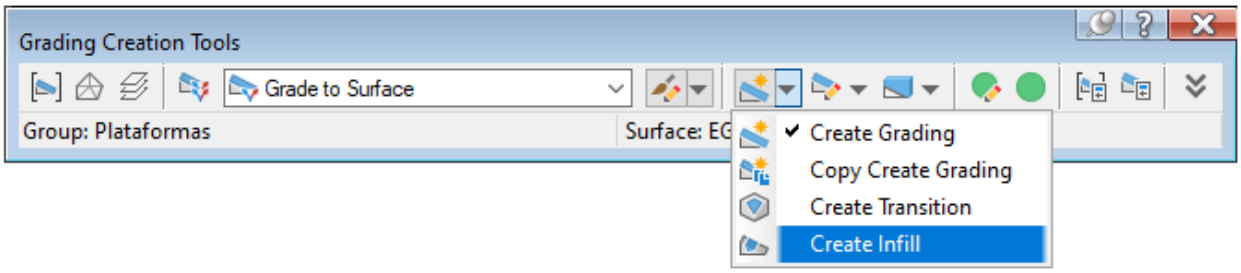
Imagen 81. Digitar pendiente de relleno.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizado el procedimiento anterior en donde se definieron las pendientes de corte y relleno para el talud, se abre nuevamente la ventana “Grading creation Tools” y se selecciona la opción “Create Infill” como se muestra en la siguiente imagen:

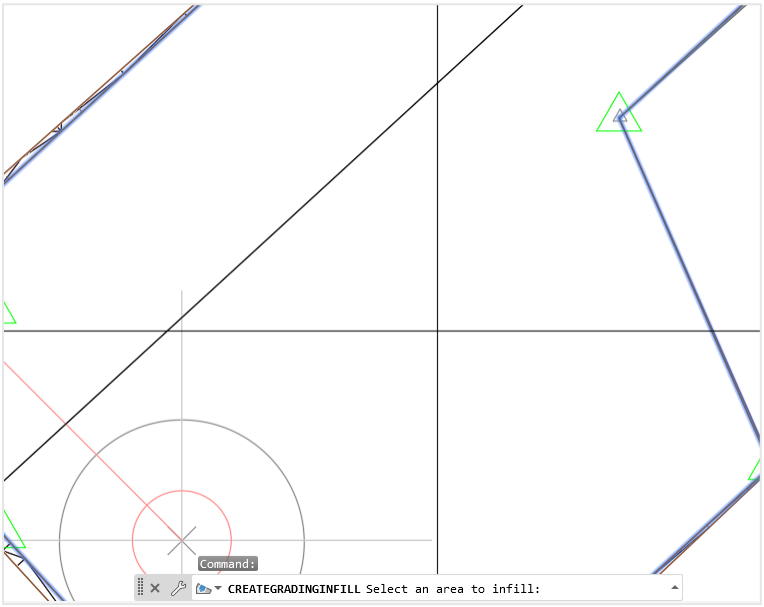
Imagen 82. Seleccionar "Create Infill".



Fuente: Elaboración propia.

Al elegir esta opción, el software solicita indicar cual es el área de relleno, para ello se selecciona el área dentro de la plataforma como se visualiza en la siguiente imagen:

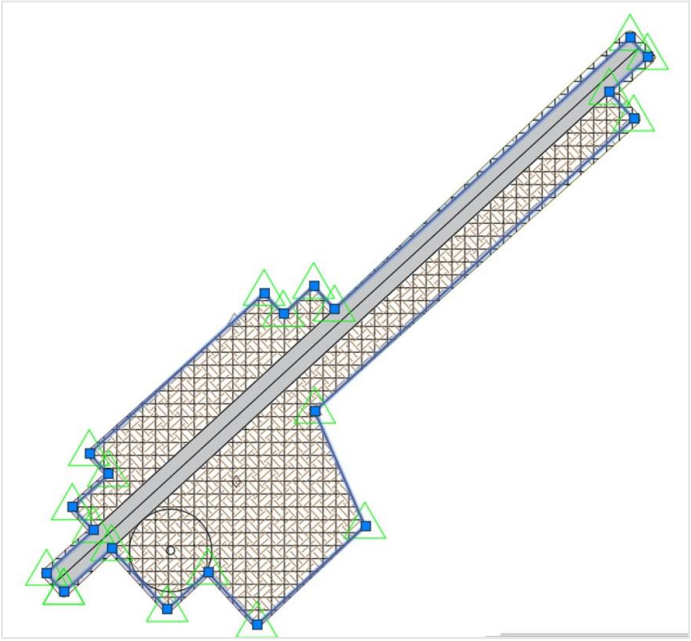
Imagen 83. Clic dentro de la plataforma para indicar área de relleno.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez culminado el procedimiento anterior, las plataformas se deben visualizar de la siguiente manera:

Imagen 84. Visualización plataforma con área de corte y relleno.

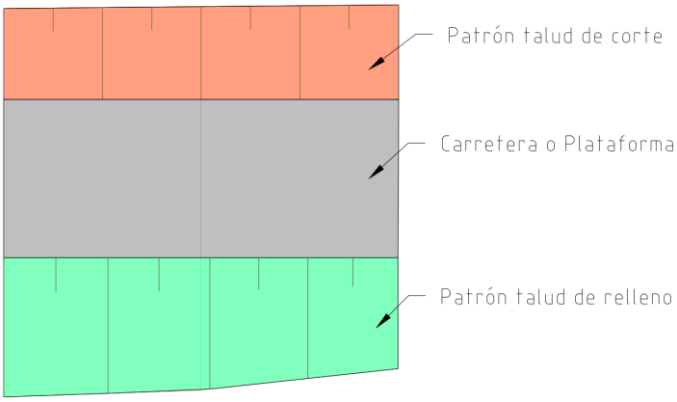


Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que, para la creación de las demás plataformas al compartir las mismas pendientes, se puede copiar la Feature Line diseñada previamente a la ubicación necesaria, y realizar la modificación de la elevación de esta como se indicó, siguiendo todos los pasos menos la asignación de pendientes ya que esto sería igual en todas.

Antes de visualizar las plataformas luego del procedimiento anterior, es importante conocer las convenciones de corte y relleno para el talud:

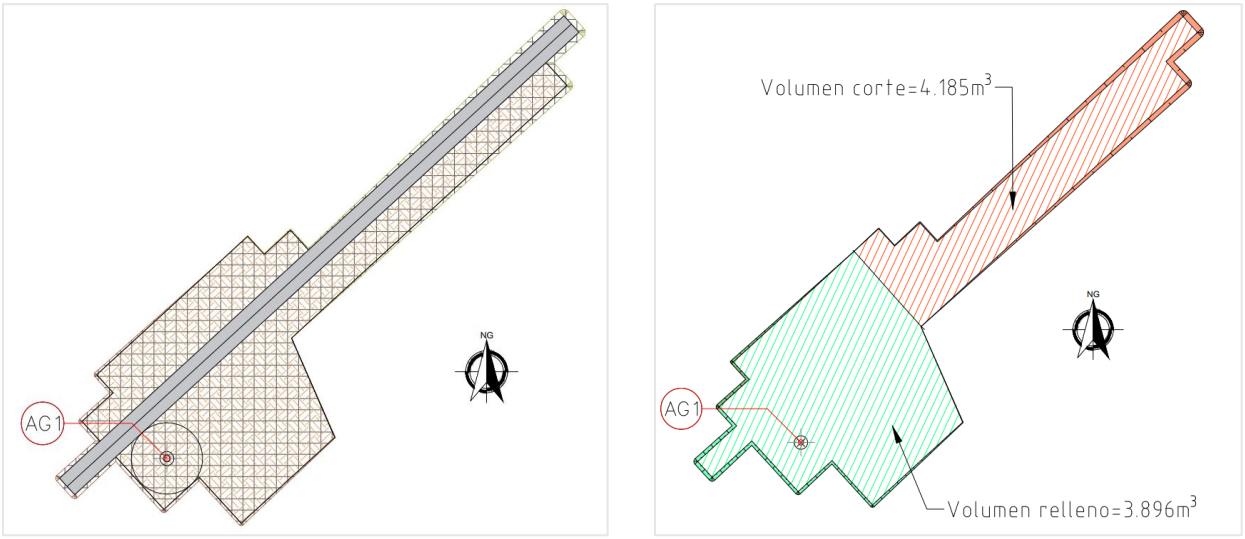
Imagen 85. Convenciones patrones de la plataforma, talud de corte y relleno.



Fuente: Elaboración propia.

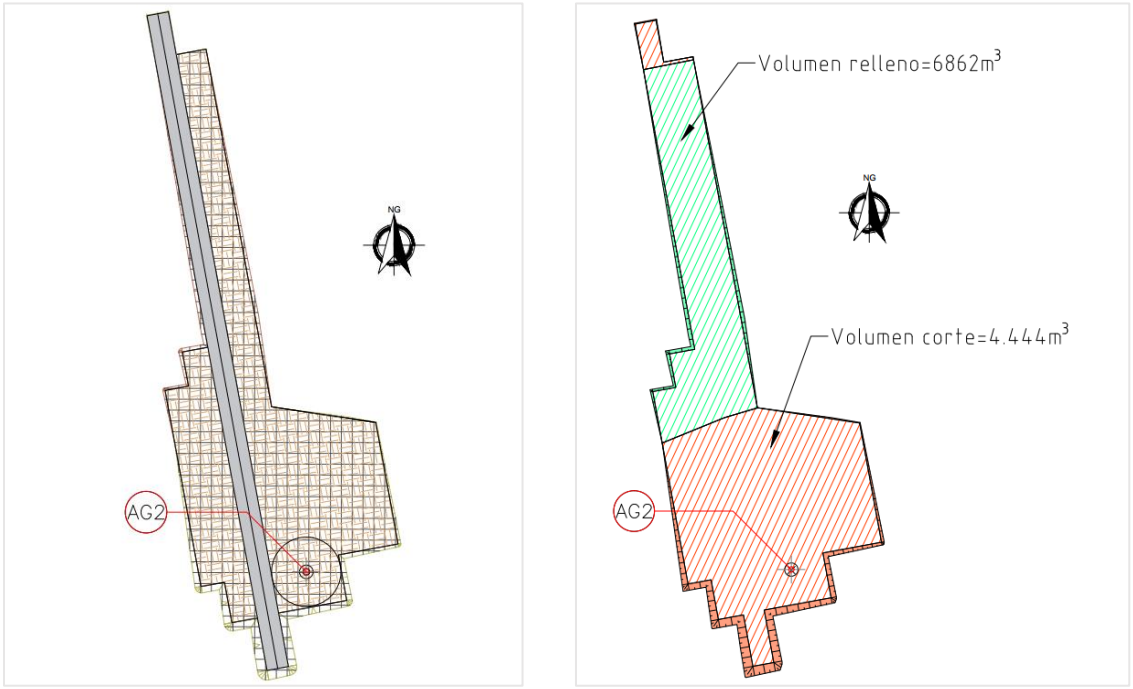
Una vez conocidas las convenciones anteriores, a continuación, se visualiza el resultado del procedimiento anterior:

Imagen 86. Visualización volumen de corte y relleno Plataforma 1.



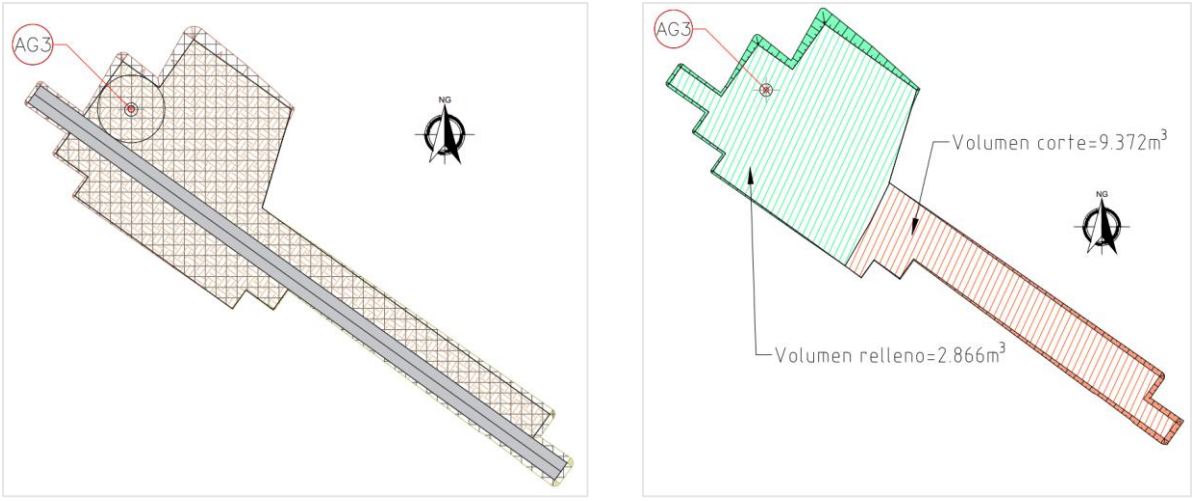
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 87. Visualización volumen de corte y relleno Plataforma 2.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 88. Visualización volumen de corte y relleno Plataforma 3.



Fuente: Elaboración propia.

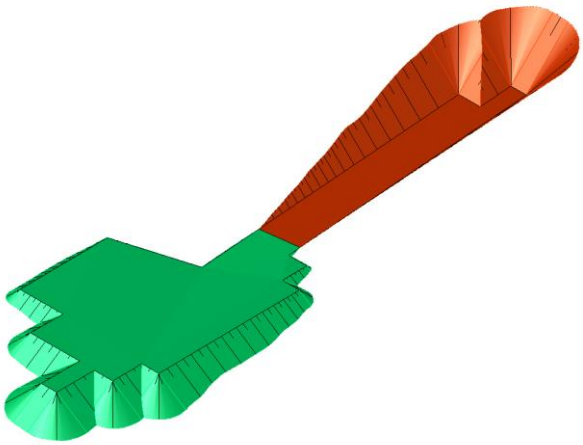
Imagen 89. Visualización volumen de corte y relleno Plataforma 4.



Fuente: Elaboración propia.

En las imágenes se observa la variación de volúmenes de corte y relleno para cada plataforma de acuerdo con su ubicación y orientación. Para facilitar el dimensionamiento del volumen de corte y relleno de las plataformas, en la siguiente imagen se puede visualizar un ejemplo de cómo se nivela la plataforma de acuerdo con el procedimiento anteriormente realizado.

Imagen 90. Visualización volumen de corte y relleno en 3D de una plataforma.

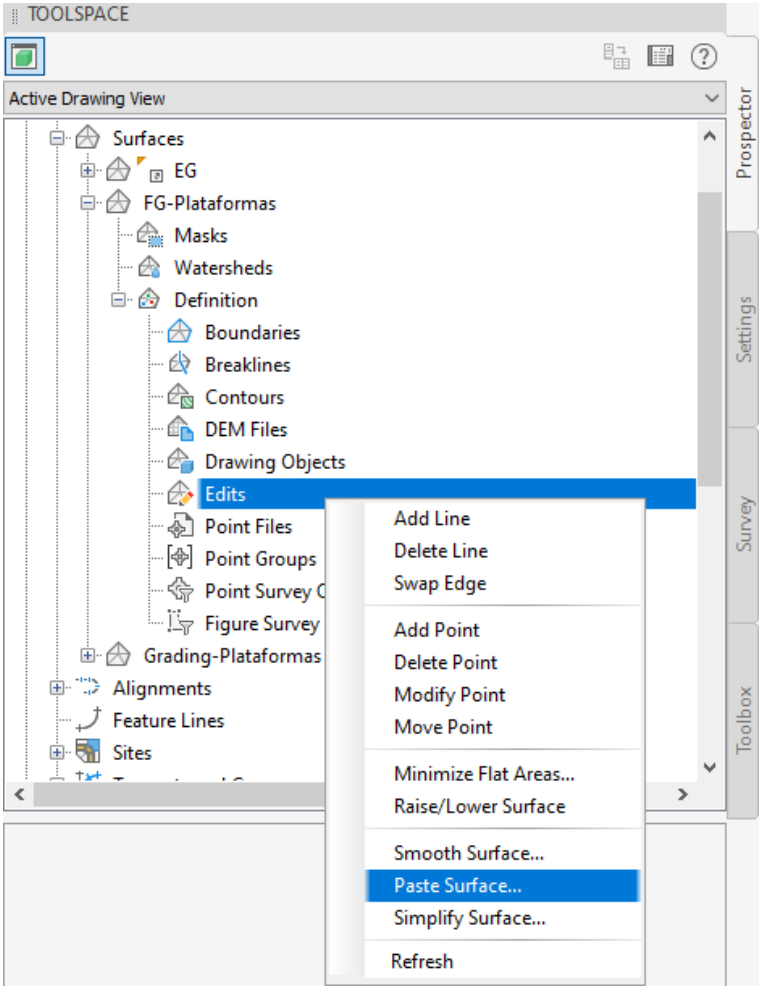


Fuente: Elaboración propia.

En la imagen 89 se observa la nivelación de la elevación y la pendiente de la plataforma. El punto marcado con la etiqueta de referencia mantiene la altura asignada según el punto de referencia. Mientras tanto, las áreas fuera de este punto requieren relleno o corte para lograr una nivelación adecuada de la plataforma.

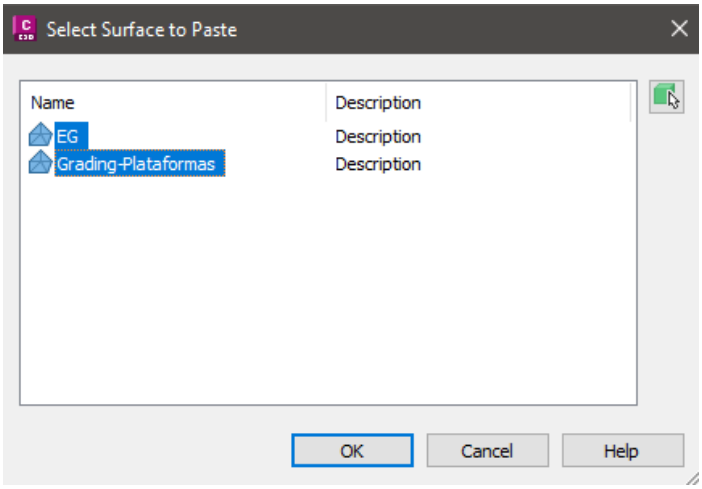
Como parte del procedimiento final para el diseño y modelado de las plataformas, se crea una superficie nueva integrando la superficie del terreno y la de las plataformas, como se muestra en las siguientes imágenes:

Imagen 91. Creación superficie nueva integrando superficie del terreno y de las plataformas.



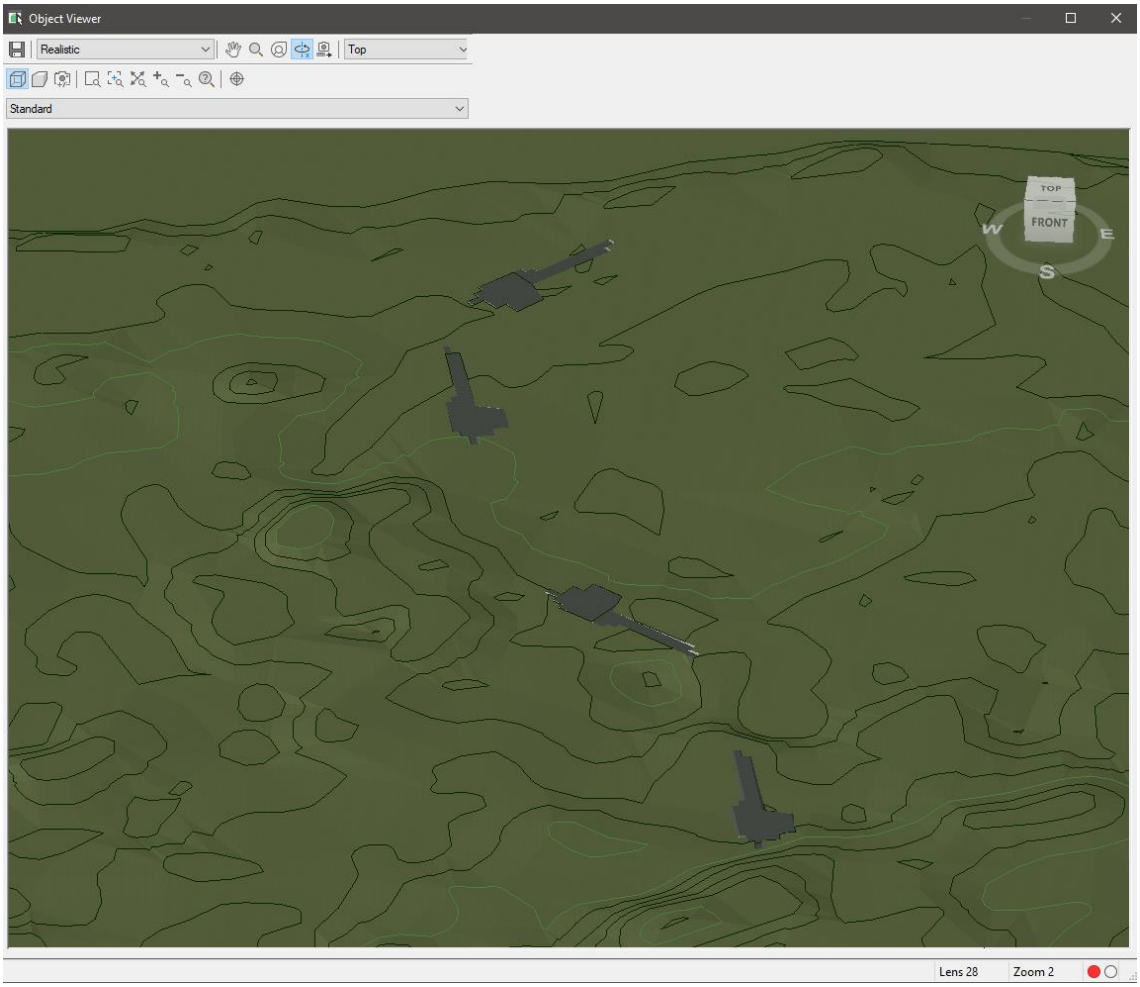
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 92. Integración superficie del terreno y de las plataformas.



Fuente: Elaboración propia.

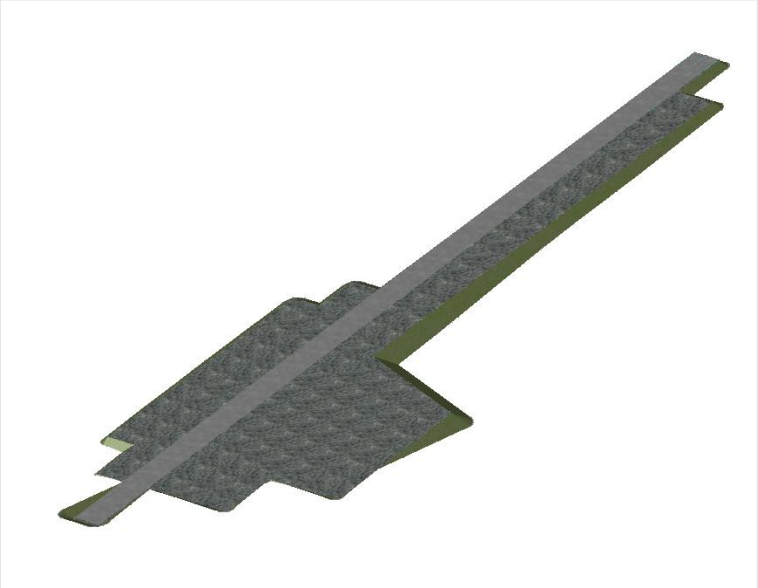
Imagen 93. Visualización plataformas dentro de la superficie del terreno.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, a partir de las superficies creadas, se puede visualizar el movimiento de tierras que se requiere en cada plataforma, es allí donde se evidencia la importancia de ubicar el punto de referencia en el centro de la plataforma esto con el objetivo de diseñar un movimiento de tierras en la mayoría de los casos, equilibrada a cada lado de la plataforma como se visualiza en la siguiente imagen:

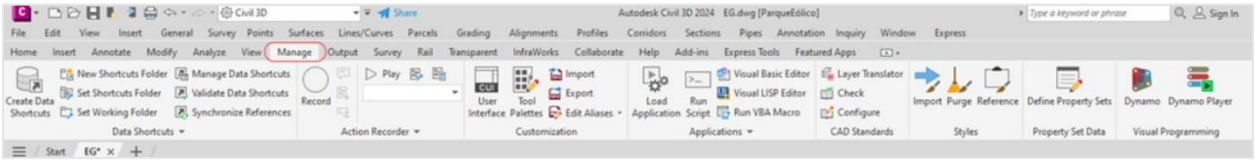
Imagen 94. Visualización movimiento de tierras en una plataforma.



Fuente: Elaboración propia.

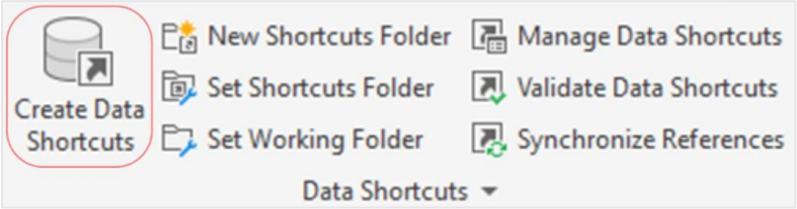
Una vez se cuenta con la versión final de la superficie, se genera el respectivo Data Shortcut de este recurso, para trabajarlo fácilmente en los archivos de modelo y como se ha venido trabajando desde el inicio de este capítulo en todo el proyecto. Para ello, nuevamente se identifica la pestaña “Manage” y allí se selecciona la opción “Create Data Shortcuts”.

Imagen 95. Seleccionar la pestaña "Manage" en la barra de herramientas.



Fuente: Elaboración propia.

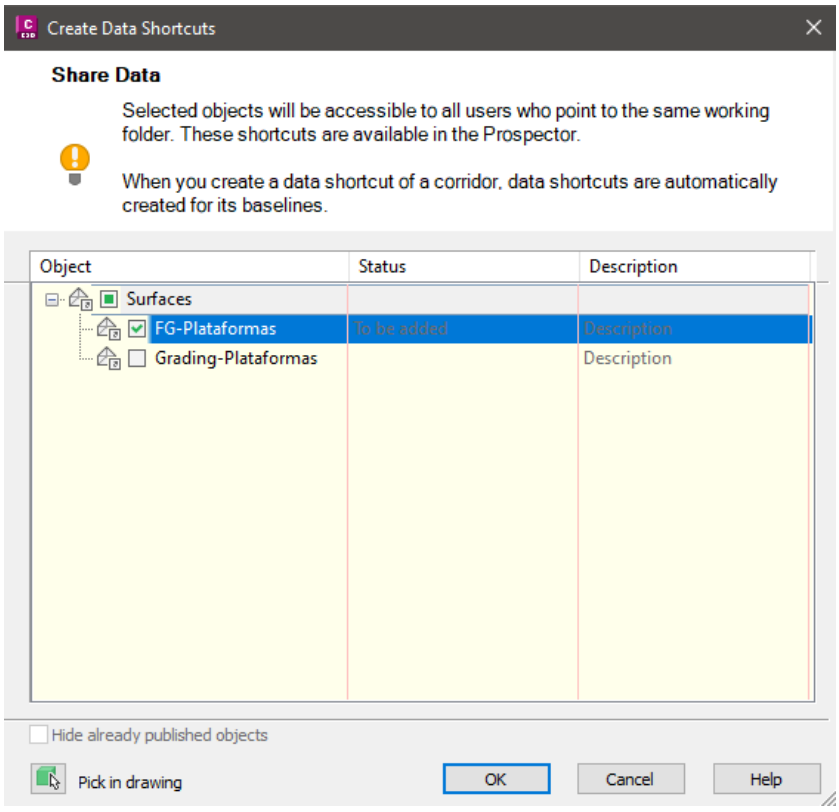
Imagen 96. Creación de un nuevo Data Shortcut.



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar la opción “Create Data Shortcuts”, se abre la respectiva ventana en donde se selecciona la superficie nueva creada, como se visualiza en la siguiente imagen:

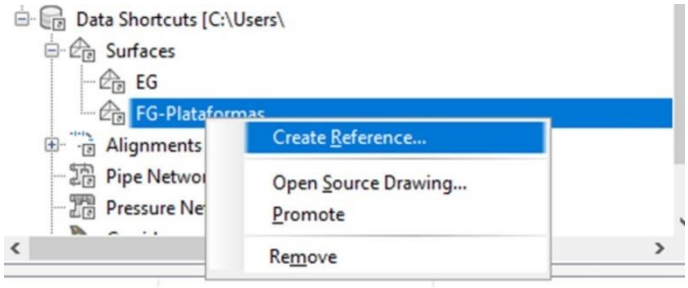
Imagen 97. Seleccionar la nueva superficie para crear el Data Shortcut.



Fuente: Elaboración propia.

Seguido de ello, se crea otro archivo en donde se realizará el modelo final donde se integre el diseño de las plataformas de aerogeneradores y sus carreteras. Para ello, se da clic derecho en la superficie y se selecciona la primera opción “Create Reference”.

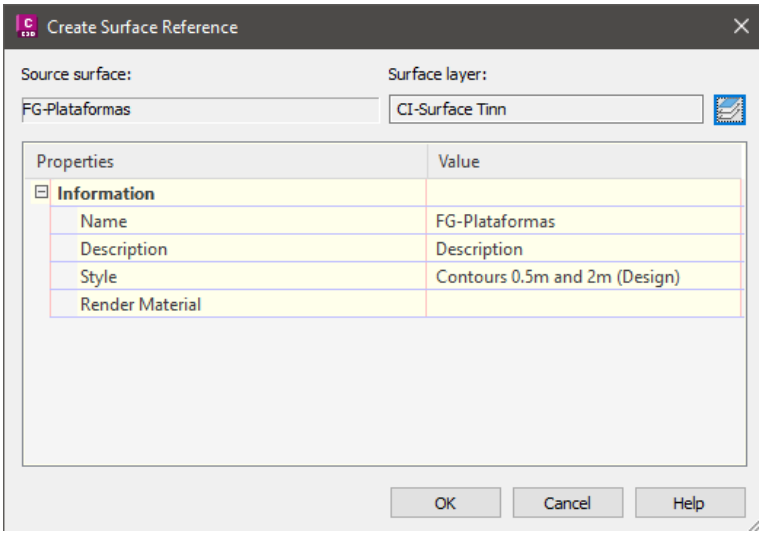
Imagen 98. Seleccionar "Create Reference" para crear nuevo archivo.



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar la opción “Create Reference”, se abre la respectiva ventana en donde se crea finalmente la referencia de superficie.

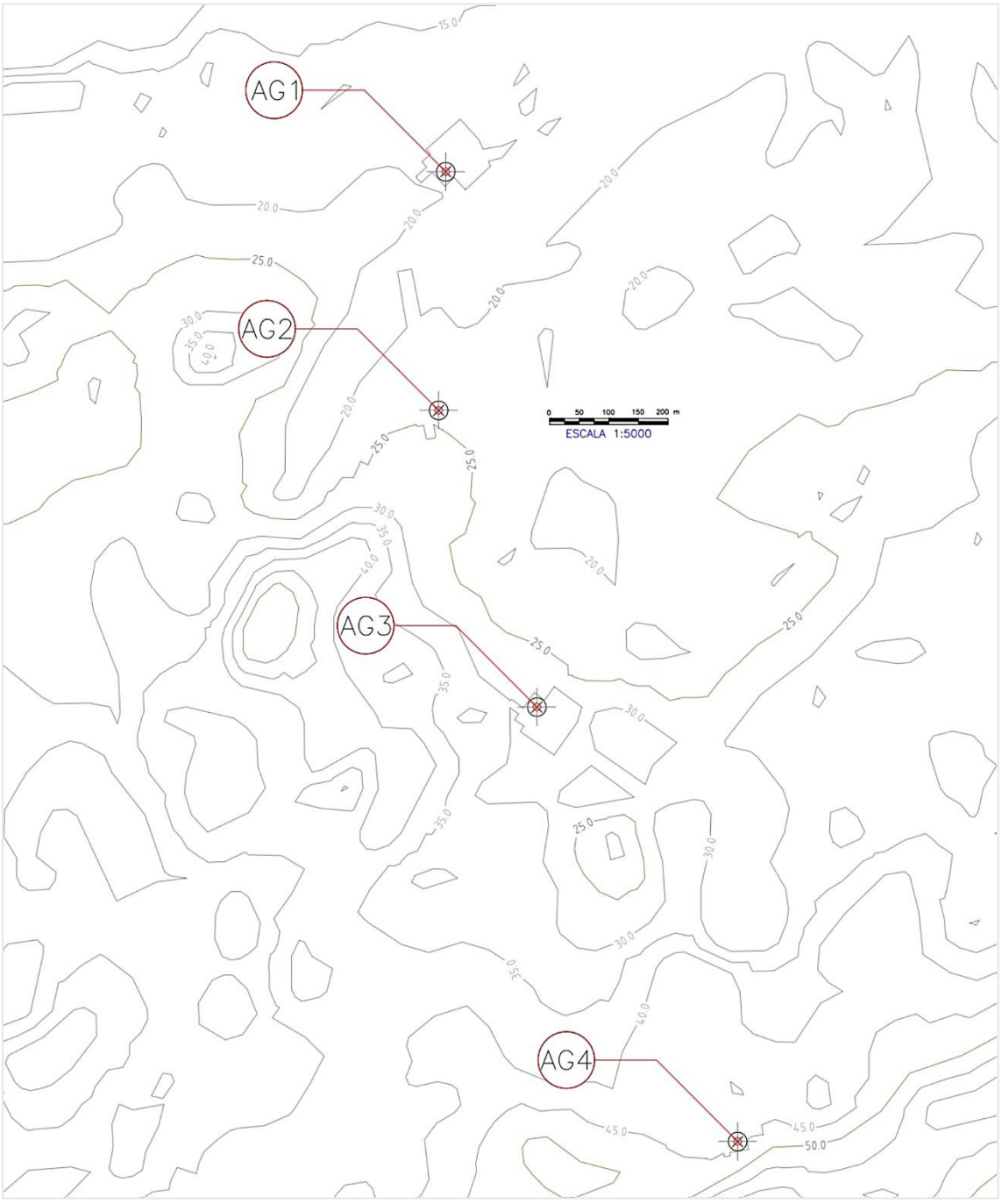
Imagen 99. Configuración para crear la nueva referencia.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de lo anterior, la manera en la cual se visualiza el proyecto se puede apreciar en la siguiente imagen:

Imagen 100. Vista planta superficie terreno y plataformas.



Fuente: Elaboración propia.

Diseño y Modelación de Carreteras

Una vez finalizado el diseño de las plataformas, se procede al diseño y modelado de las carreteras. Las elevaciones y los puntos de inicio y fin de cada plataforma sirven como base para trazar las carreteras de manera efectiva.

Al iniciar el trazado de las carreteras, es esencial considerar aspectos como la estabilidad del terreno, la inclinación del suelo, la estabilidad geotécnica, el sistema de drenaje, la frecuencia de eventos importantes, divisiones de agua y la diversidad de vida o ecosistemas. Estos elementos están integrados en la superficie de trabajo desde el inicio del ejemplo, tras su importación y su inclusión en el proceso de diseño. Para iniciar el trazado de las carreteras, se debe seguir el siguiente proceso:

"Se debe trazar la línea de ceros en el terreno con el propósito de verificar si es posible conectar los puntos extremos del tramo homogéneo, es decir sus fronteras, sin superar la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta (PMmáx) asociada a la Velocidad de diseño asignada (VTR)." (INVIAS, 2008, p. 23).

Para trazar la línea de ceros, se deben considerar aspectos como la velocidad y pendiente de diseño. El primer paso es trazar una serie de circunferencias que tengan un diámetro definido por la relación entre la pendiente de diseño y la diferencia de altura entre las cotas del terreno:

Ecuación 1. Ecuación diámetro de las circunferencias de la línea de ceros.

$$D = \frac{\Delta h}{P}$$

Por ejemplo, si la diferencia de altura entre las cotas de la cartografía del terreno es de 0,5m y la pendiente de diseño es del 8%, se aplica la ecuación de la siguiente forma:

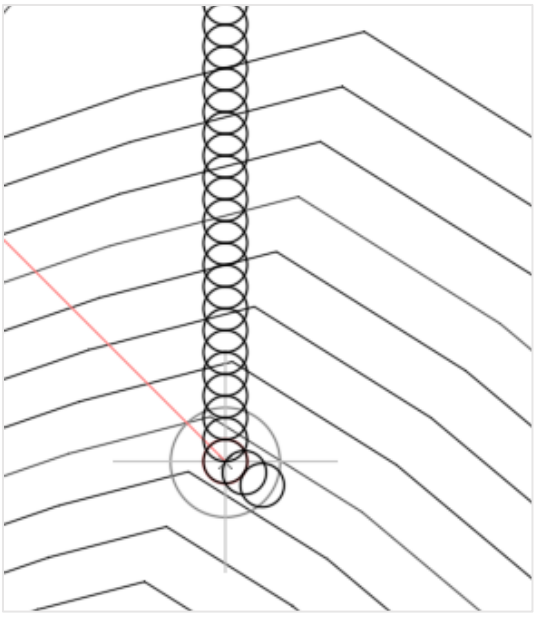
Ecuación 2. Ejemplo aplicación ecuación diámetro de las circunferencias de la línea de ceros.

$$D = \frac{0.5m}{0.08} = 6.25m$$

"Una vez trazada la línea de ceros sobre las restituciones se debe llevar a cabo un reconocimiento terrestre con el propósito de validar los planteamientos formulados con base en la cartografía. Para conceptuar si la línea de ceros es factible, se debe establecer, con un altímetro, la cota de los puntos secundarios de control propuestos. Con el desarrollo de dicha línea, medido sobre las mismas restituciones, se debe calcular la Pendiente Media del corredor entre puntos de control y constatar, sobre la realidad del terreno, si se supera o no la máxima permitida según la Velocidad de Diseño asignada al tramo homogéneo." (INVIAS, 2008, p. 11).

Una vez calculado el diámetro de la circunferencia con la que se realizará la línea de ceros, se inicia su trazado de la siguiente manera:

Imagen 101. Trazado línea de ceros.

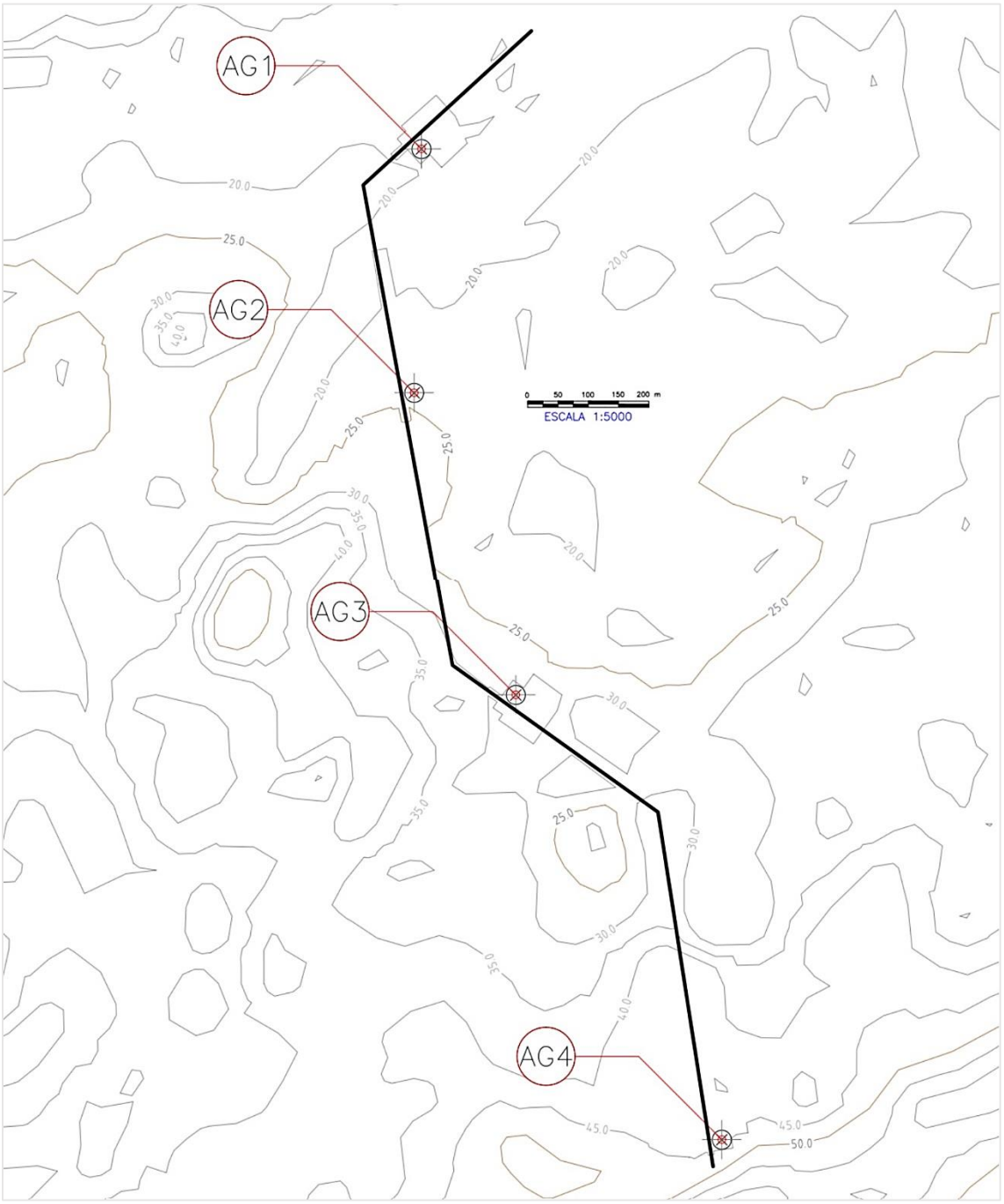


Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo la imagen 100, se evidencia cómo las circunferencias delimitan el trazado de la línea de ceros, asegurando así el mantenimiento de la pendiente y velocidad de diseño óptimas.

Continuando con el ejemplo que se ha estado desarrollando a lo largo de todo el capítulo de la monografía, se procede a trazar la línea de ceros utilizando una polilínea en Civil 3D. Este proceso se visualiza en la siguiente representación gráfica:

Imagen 102. Vista planta superficie terreno, plataformas y trazado inicial de la carretera.

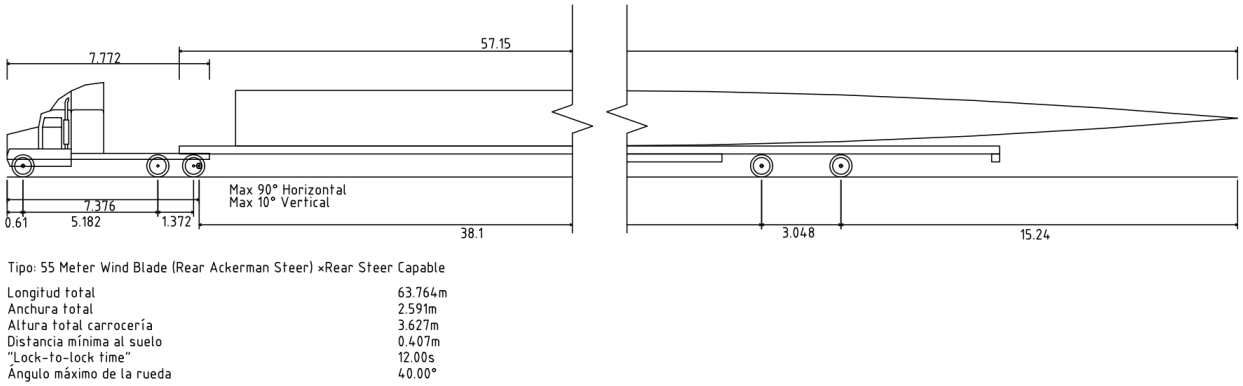


Fuente: Elaboración propia.

Al observar la imagen, se aprecia el trazado inicial de las carreteras de los aerogeneradores, donde atraviesa cada plataforma, integrando así el diseño de las carreteras y las plataformas en un único trabajo.

Antes de proceder con el diseño de las carreteras, es fundamental visualizar el camión que transportará las palas del aerogenerador. Este vehículo tiene dimensiones específicas según el tipo de aerogenerador, como se detalló en el capítulo 2. Para este ejemplo, las medidas del camión son las siguientes:

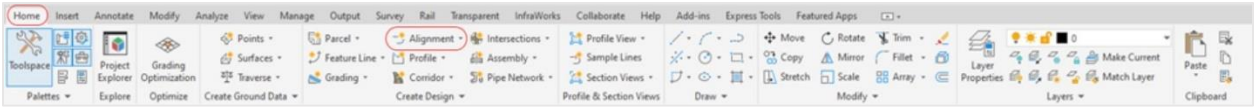
Imagen 103. Dimensiones del camión que transporta las palas del aerogenerador.



Fuente: Elaboración propia.

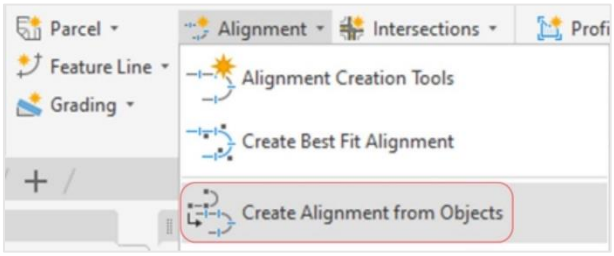
Una vez dimensionado el camión, se continúa con el diseño de las carreteras. El siguiente paso es crear el alineamiento de la carretera siguiendo la polilínea previamente trazada. Para ello, en la pestaña "Home", se accede al menú desplegable "Alignment" y se selecciona la opción "Create Alignment from Objects", como se muestra en las imágenes siguientes:

Imagen 104. Seleccionar en la pestaña "Home" el menú desplegable "Alignment".



Fuente: Elaboración propia.

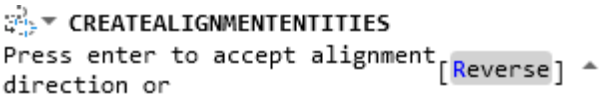
Imagen 105. Seleccionar "Create Alignment from Objects".



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar "Create Alignment from Objects", se solicita elegir la dirección del alineamiento a través de la barra de comandos, de la siguiente manera:

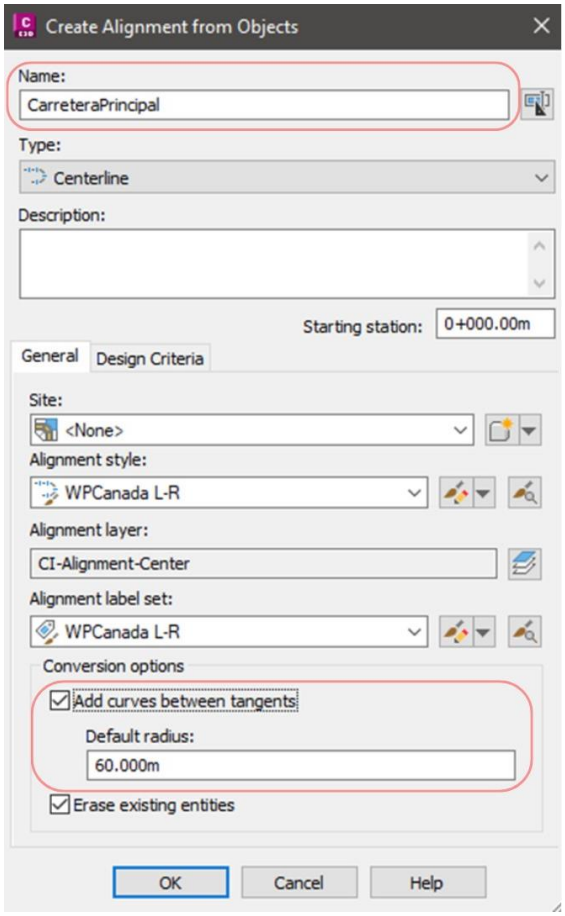
Imagen 106. Elegir la dirección del alineamiento en la barra de comandos.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionada la dirección del alineamiento correcta según el diseño, se abre la ventana "Create Alignment from Objects". En esta ventana, se asigna un nombre al Alineamiento y se selecciona la casilla de "Add curves between tangents" para añadir curvas en el alineamiento de manera automática, con un radio de giro por defecto de 60m, como se muestra en la imagen:

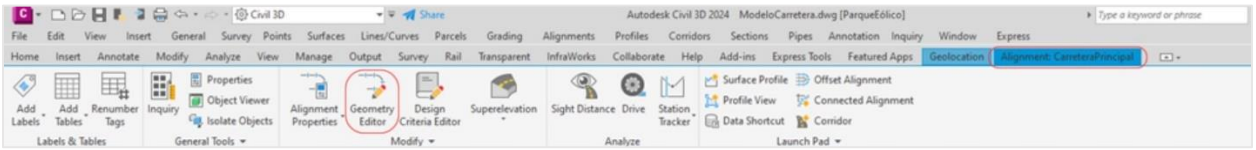
Imagen 107. Configuración en la creación del alineamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Después de seleccionar "OK" en la ventana mencionada anteriormente, esta se cierra automáticamente. A continuación, se selecciona el alineamiento y en la barra de herramientas se visualiza la pestaña del alineamiento, donde se elige la herramienta "Geometry Editor", como se muestra en la siguiente imagen:

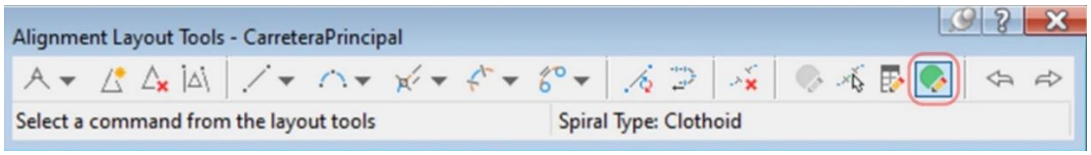
Imagen 108. Seleccionar en pestaña del alineamiento la herramienta "Geometry Editor".



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar la herramienta "Geometry Editor", se abre la pestaña correspondiente, donde se elige el ícono señalado en la imagen a continuación:

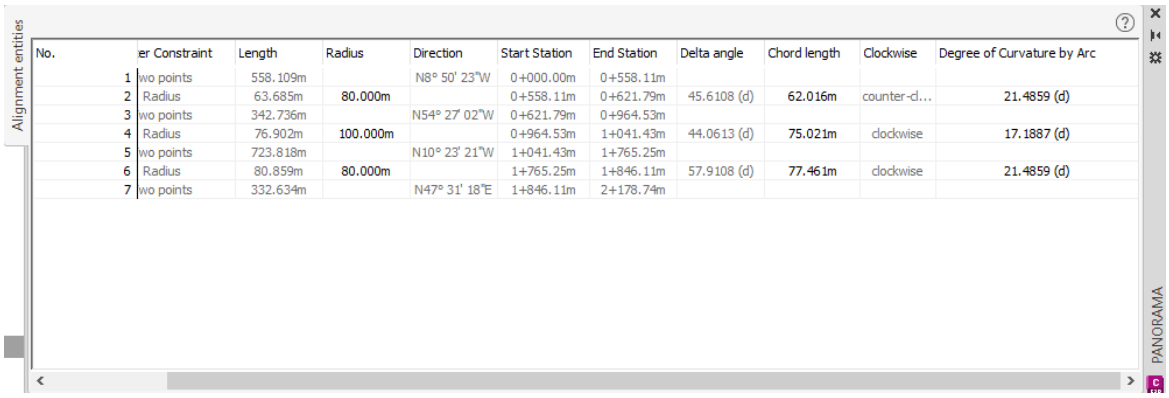
Imagen 109. Seleccionar el ícono señalado en la configuración de las herramientas del alineamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Al hacer clic en el ícono señalado, se despliega la ventana "Alignment Entities", donde se pueden modificar los radios de giro según sea necesario. Se recomienda dejar radios mayores a 60m, dado que este es el valor mínimo de radio de giro.

Imagen 110. Ajustar radios de giro en la ventana "Alignment Entities".

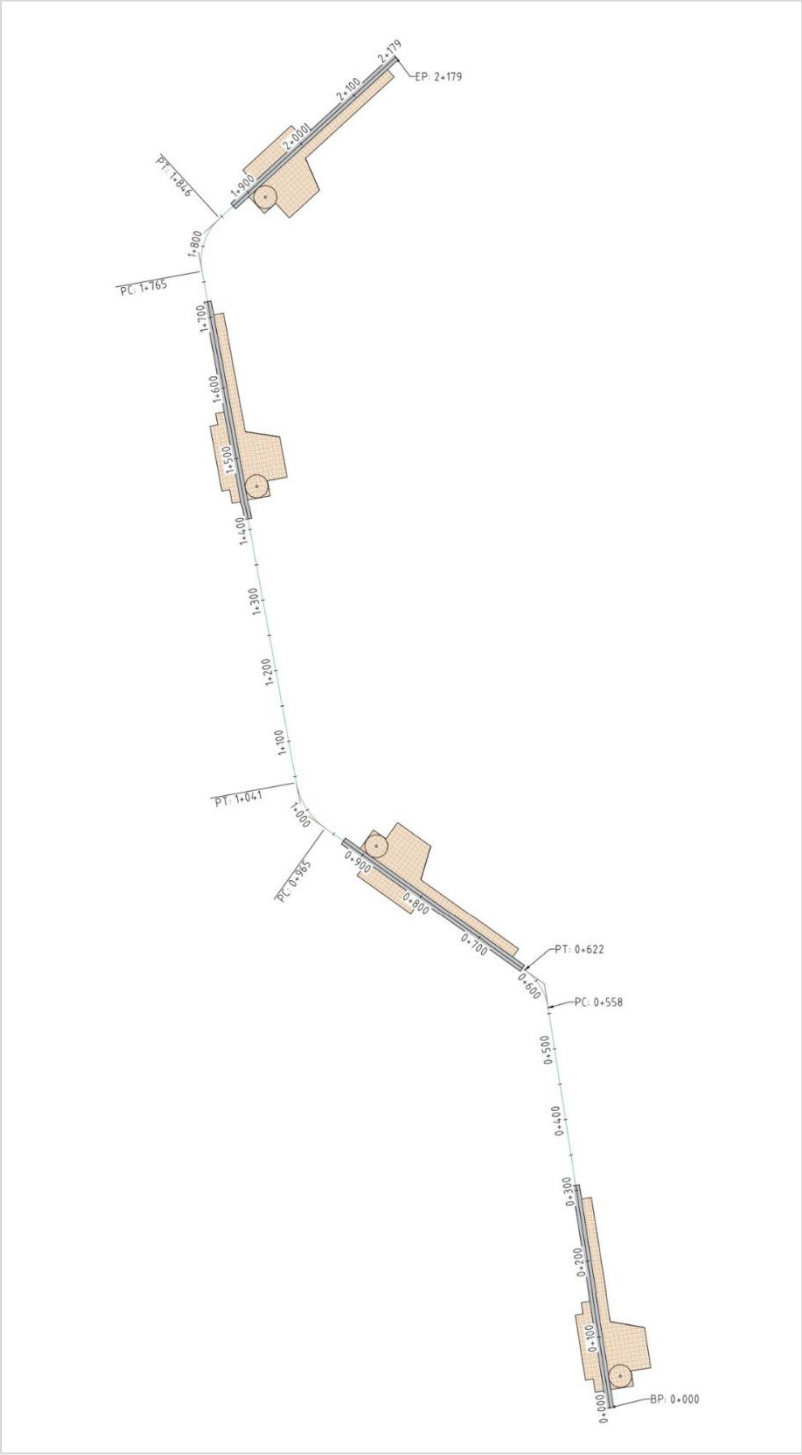


No.	er Constraint	Length	Radius	Direction	Start Station	End Station	Delta angle	Chord length	Clockwise	Degree of Curvature by Arc
1	wo points	558.109m		N8° 50' 23"W	0+000.00m	0+558.11m				
2	Radius	63.685m	80.000m		0+558.11m	0+621.79m	45.6108 (d)	62.016m	counter-cl...	21.4859 (d)
3	wo points	342.736m		N54° 27' 02"W	0+621.79m	0+964.53m				
4	Radius	76.902m	100.000m		0+964.53m	1+041.43m	44.0613 (d)	75.021m	clockwise	17.1887 (d)
5	wo points	723.818m		N10° 23' 21"W	1+041.43m	1+765.25m				
6	Radius	80.859m	80.000m		1+765.25m	1+846.11m	57.9108 (d)	77.461m	clockwise	21.4859 (d)
7	wo points	332.634m		N47° 31' 18"E	1+846.11m	2+178.74m				

Fuente: Elaboración propia.

Después de ajustar los valores de los radios de giro, se adapta la vía para proporcionar una mayor maniobrabilidad durante el transporte de las aspas de los aerogeneradores, asegurando comodidad y seguridad en el traslado de las partes del aerogenerador en general. El alineamiento se finalizado se visualiza de la siguiente manera:

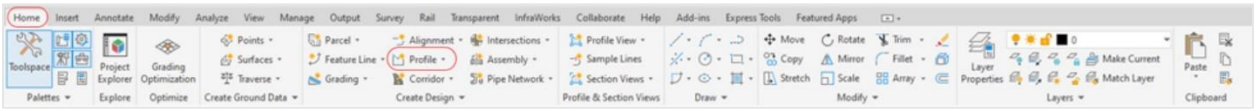
Imagen 111. Vista planta alineamiento de la carretera.



Fuente: Elaboración propia.

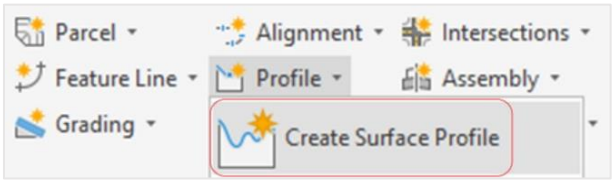
Posteriormente a la edición de los radios de giro, se localiza en la pestaña "Home" el menú desplegable "Profile", donde se selecciona la opción "Create Surface Profile", como se ilustra en las siguientes imágenes:

Imagen 112. Seleccionar en la pestaña "Home" el menú desplegable "Profile".



Fuente: Elaboración propia.

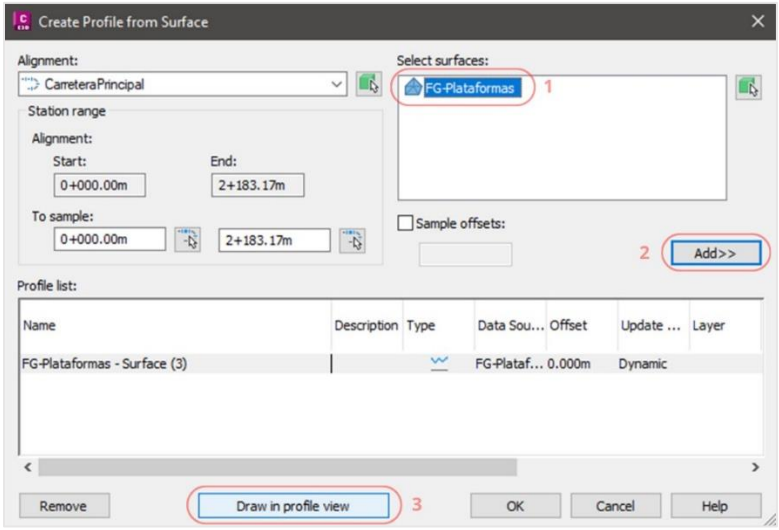
Imagen 113. Seleccionar "Create Surface Profile".



Fuente: Elaboración propia.

Al optar por la herramienta "Create Surface Profile", se abre la ventana correspondiente donde se efectuarán los ajustes para la creación del perfil de la vía. Para ello, como paso inicial, se elige la superficie en la que se está trabajando, a continuación, se selecciona "Add" y, por último, se opta por "Draw in profile view", como se exhibe en la siguiente imagen:

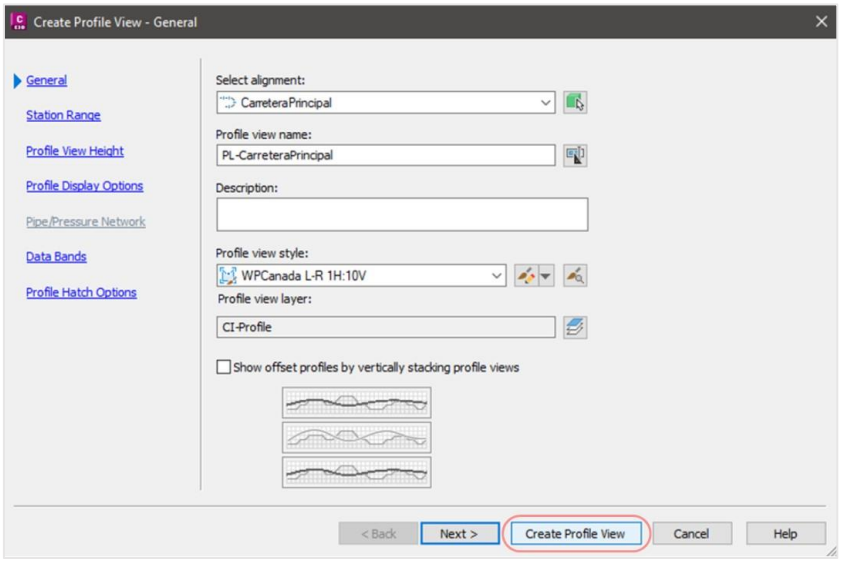
Imagen 114. Realizar el paso a paso para configurar la creación del perfil.



Fuente: Elaboración propia.

Después de seleccionar "Draw in profile view", se abre una nueva ventana que permite personalizar la visualización del perfil. Para proseguir, se elige "Create Profile View", como se muestra a continuación:

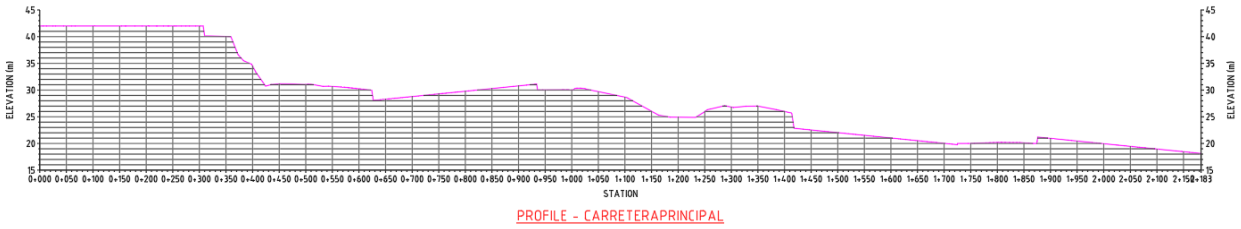
Imagen 115. Configurar el perfil a su preferencia y crearlo.



Fuente: Elaboración propia.

Tras seleccionar "Create Profile View", el perfil creado a partir del alineamiento y la superficie trabajada se visualiza de inmediato, como se muestra en la imagen:

Imagen 116. Visualización perfil de la carretera.



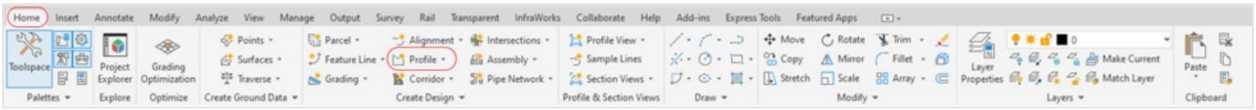
Fuente: Elaboración propia.

Al observar el perfil, se verifica que abarque la totalidad de la longitud del alineamiento, que en este caso es de 2.183 metros. También se comprueba que la diferencia de alturas sea acorde a la superficie trabajada; en este caso, la cota inicial del alineamiento es de 42 metros y la final es

de 18 metros, lo que refleja una diferencia de alturas de 24 metros a lo largo de todo el proyecto, conformado por 4 aerogeneradores.

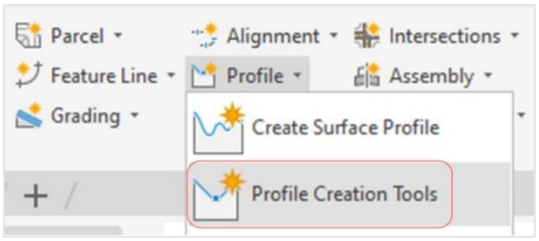
Después de verificar esto, se regresa a la pestaña "Home" y se identifica nuevamente el menú desplegable "Profile". Allí se selecciona la opción "Profile Creation Tools", como se muestra en las siguientes imágenes:

Imagen 117. Seleccionar en la pestaña "Home" el menú desplegable "Profile".



Fuente: Elaboración propia.

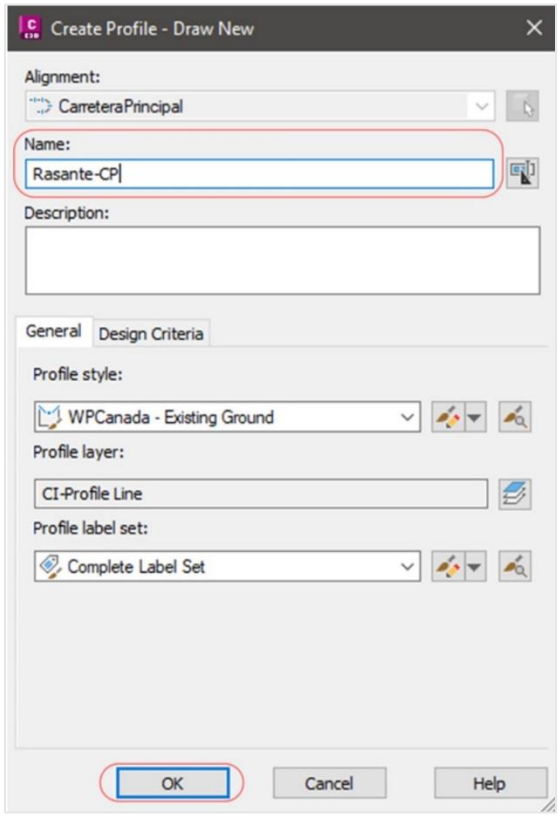
Imagen 118. Seleccionar "Profile Creation Tools".



Fuente: Elaboración propia.

Al elegir la opción "Profile Creation Tools", se abre una ventana donde se creará la Rasante del perfil. Se asigna un nombre a la rasante y luego se selecciona "OK", como se indica en la siguiente imagen:

Imagen 119. Asignar nombre a la rasante del perfil.



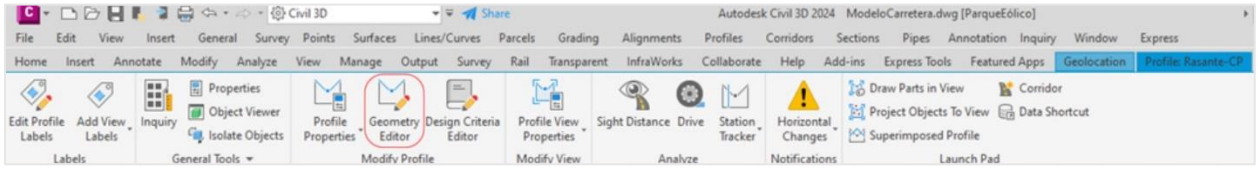
Fuente: Elaboración propia.

Al presionar "OK", se activa la herramienta para trazar la rasante. Es crucial conservar la rasante igual que la superficie en las partes de las plataformas, manteniendo así el diseño original de las plataformas y evitando movimientos de tierras en esas zonas.

Para trazar la rasante de la vía, es vital tener en cuenta el inicio y el fin de cada plataforma, modificándola y optimizándola según las necesidades del proyecto. Se recomienda reducir al mínimo posible las curvas verticales y ampliar el radio de estas.

Una vez diseñada la rasante, esta se visualiza dentro del perfil y se selecciona. Al hacerlo, se activa la pestaña "Profile: Rasante" en la barra de herramientas, donde se elige la herramienta "Geometry Editor", como se muestra a continuación:

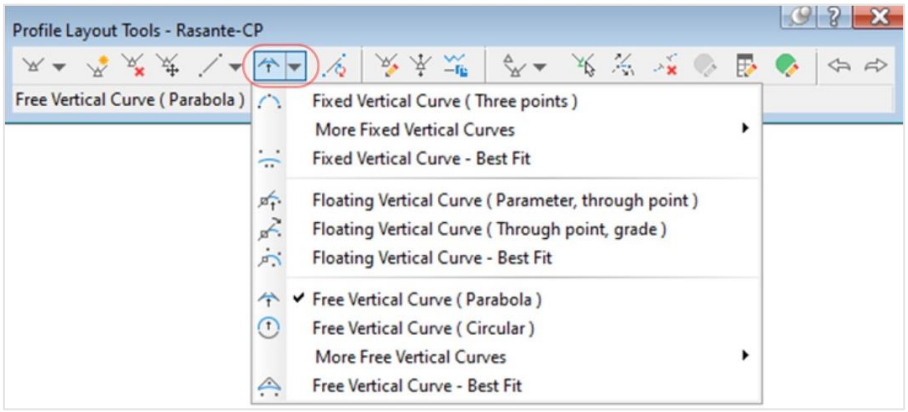
Imagen 120. Seleccionar "Geometry Editor" en la ventana de la rasante.



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar la herramienta "Geometry Editor", se abre una ventana donde se ajusta la Rasante del perfil. Dentro de esta ventana, se elige el ícono indicado en la imagen a continuación, lo que despliega un menú de opciones. En este menú, se selecciona "Free Vertical Curve (Parabola)".

Imagen 121. Seleccionar "Free Vertical Curve (Parabola)" en la ventana de ajustes de la rasante.



Fuente: Elaboración propia.

El propósito de seleccionar la opción "Free Vertical Curve (Parabola)" es aplicar criterios de diseño a la rasante que difieran de los valores predeterminados por Civil 3D.

En la barra de comandos, se solicita ingresar el valor para la curva vertical, donde se selecciona "K":

Imagen 122. Seleccionar K en la barra de comandos.



Fuente: Elaboración propia.

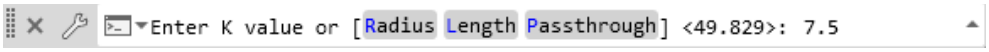
Se ingresa el valor según el Kv mínimo que para este tipo de carreteras debe ser de 750. Se debe tener en cuenta que:

Ecuación 3. K en función de Kv mínimo.

$$K = \frac{Kv}{100}$$

Por lo tanto, como se muestra a continuación, se ingresa en la barra de comandos el valor de K: 7,5.

Imagen 123. Digitar en valor de K de acuerdo con el valor de Kv mínimo.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecido el valor mínimo de Kv para las curvas verticales en la rasante, se regresa a la ventana "Profile Layout Tools" de la rasante, donde se selecciona el ícono que se resalta en la imagen:

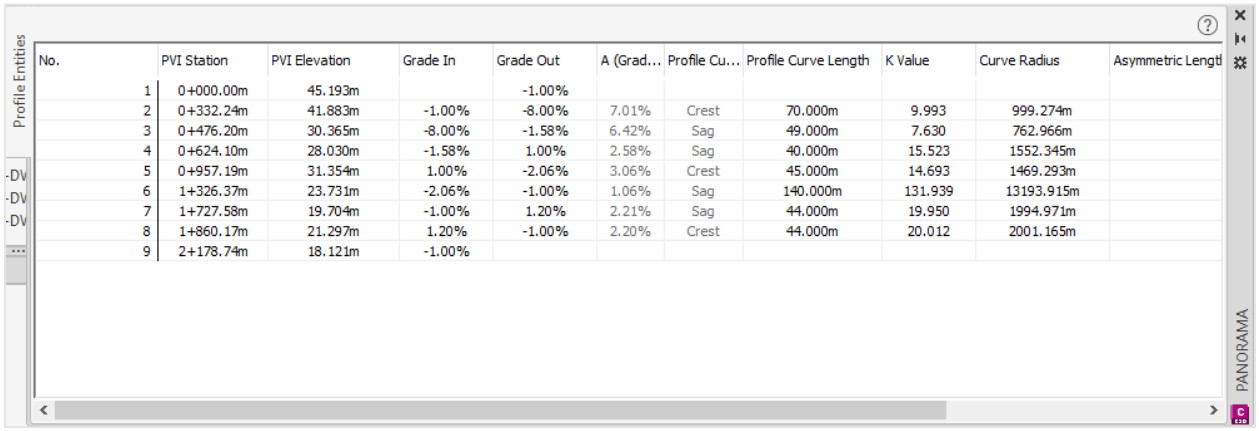
Imagen 124. Seleccionar el ícono señalado en la ventana de ajustes de la rasante.



Fuente: Elaboración propia.

Al hacer clic en el ícono señalado, se despliega la ventana "Profile Entities", donde, al igual que en el alineamiento anteriormente, se pueden modificar las medidas de la rasante según sea necesario.

Imagen 125. Configuración valores de la rasante.



No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grad...	Profile Cu...	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius	Asymmetric Lengtl
1	0+000.00m	45.193m		-1.00%						
2	0+332.24m	41.883m	-1.00%	-8.00%	7.01%	Crest	70.000m	9.993	999.274m	
3	0+476.20m	30.365m	-8.00%	-1.58%	6.42%	Sag	49.000m	7.630	762.966m	
4	0+624.10m	28.030m	-1.58%	1.00%	2.58%	Sag	40.000m	15.523	1552.345m	
5	0+957.19m	31.354m	1.00%	-2.06%	3.06%	Crest	45.000m	14.693	1469.293m	
6	1+326.37m	23.731m	-2.06%	-1.00%	1.06%	Sag	140.000m	131.939	13193.915m	
7	1+727.58m	19.704m	-1.00%	1.20%	2.21%	Sag	44.000m	19.950	1994.971m	
8	1+860.17m	21.297m	1.20%	-1.00%	2.20%	Crest	44.000m	20.012	2001.165m	
9	2+178.74m	18.121m	-1.00%							

Fuente: Elaboración propia.

Después de ajustar lo necesario en la rasante, se puede visualizar finalmente la versión final del perfil, en donde es necesario analizar las pendientes máximas y mínimas.

Creación del Ensamblaje

El diseño del ensamblaje es fundamental para definir las características de la carretera, y es aquí donde los criterios civiles entran a ser fundamentales, para el ejemplo a presentar se utilizará ciertos parámetros para un corredor básico, pero cabe recalcar que el detalle de este dependerá de lo requerido por el proyecto, siendo así los datos utilizados fueron los siguientes:

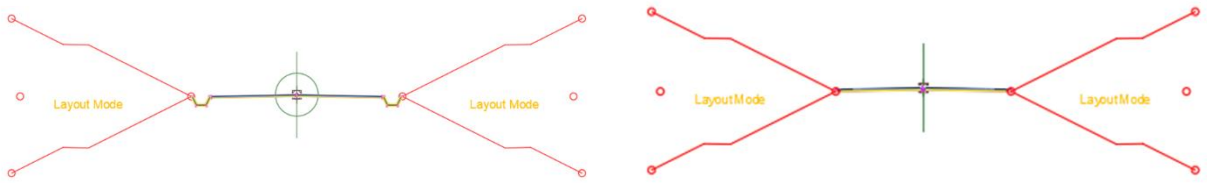
Tabla 7 - Criterios de diseño vial para el ensamblaje

No.	Ítem	Valor
1	Anchura o Ancho de carretera	10 m
2	Pendiente máxima transversal en Viales	2%
3	Pendiente talud de corte	1.5H:1V
4	Pendiente talud de relleno	1.5H:1V
5	Altura máxima banco de corte	8m
6	Altura máxima banco de relleno	8m
7	Ancho de berma	2m
8	Pendiente berma	2%
9	Base de cuneta trapezoidal	0.5m
10	Pendiente cuneta	1H:2V
11	Profundidad cuneta	0.45m

Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidos los parámetros que definirán la sección de nuestro corredor procedemos a realizar el ensamblaje en Civil3D, este contendrá todos los elementos que sean requeridos por el proyecto, para este ejemplo se realizan dos ensamblajes, el primero corresponderá a las secciones en las que solo está la carretera y el segundo para las carreteras que están atravesando una plataforma, obteniendo los siguientes esquemas:

Imagen 126. Esquemas ensamblaje.



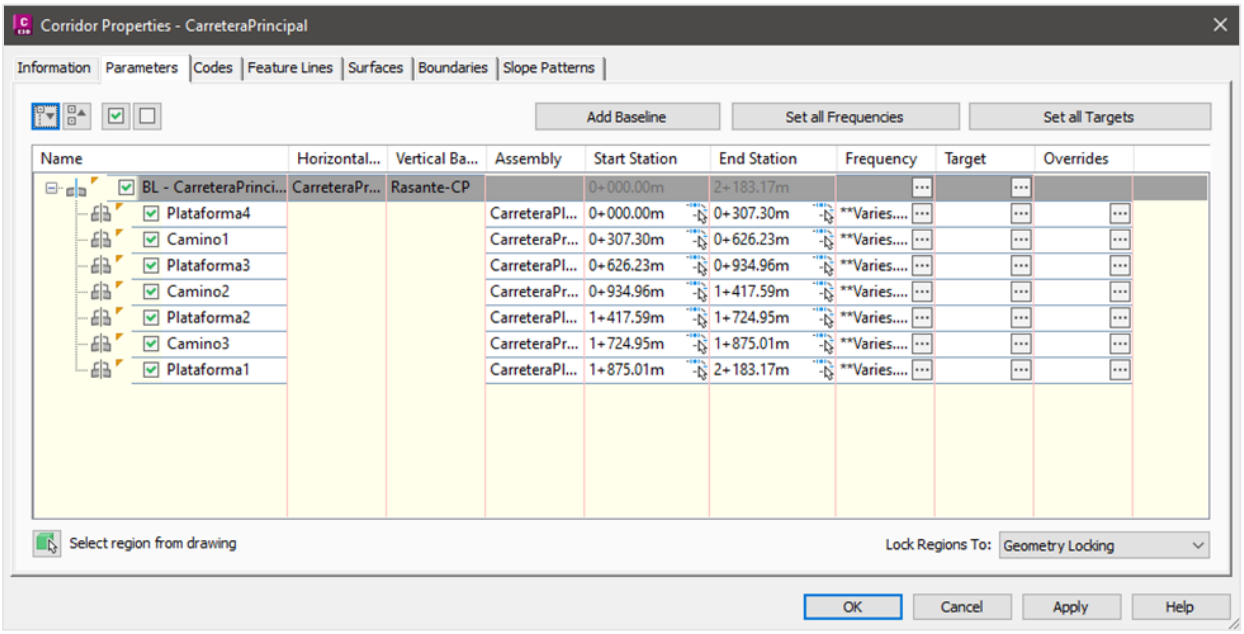
Fuente: Elaboración propia.

Creación del Corredor

Para el proyecto se realiza una creación común del corredor, tomando como ensamblaje alguno de los creados y como superficie base el FG de las plataformas, sin embargo, cuando se llega a editar la sección de "Parameters" del corredor se recomienda crear a detalle aquellas regiones en las que se desea dividir el corredor y asignar el "Assembly" o "Targets" adecuados, esto con el fin de obtener un corredor modelado correctamente, y además que facilite la exportación de los sólidos para visualizarlos en Navisworks procedimiento que se explicara más adelante.

En el ejemplo presentado crea una región para cada zona del corredor que atraviesa una plataforma, y una para cada carretera que conecta las plataformas, obteniendo así siete regiones como se presentan a continuación.

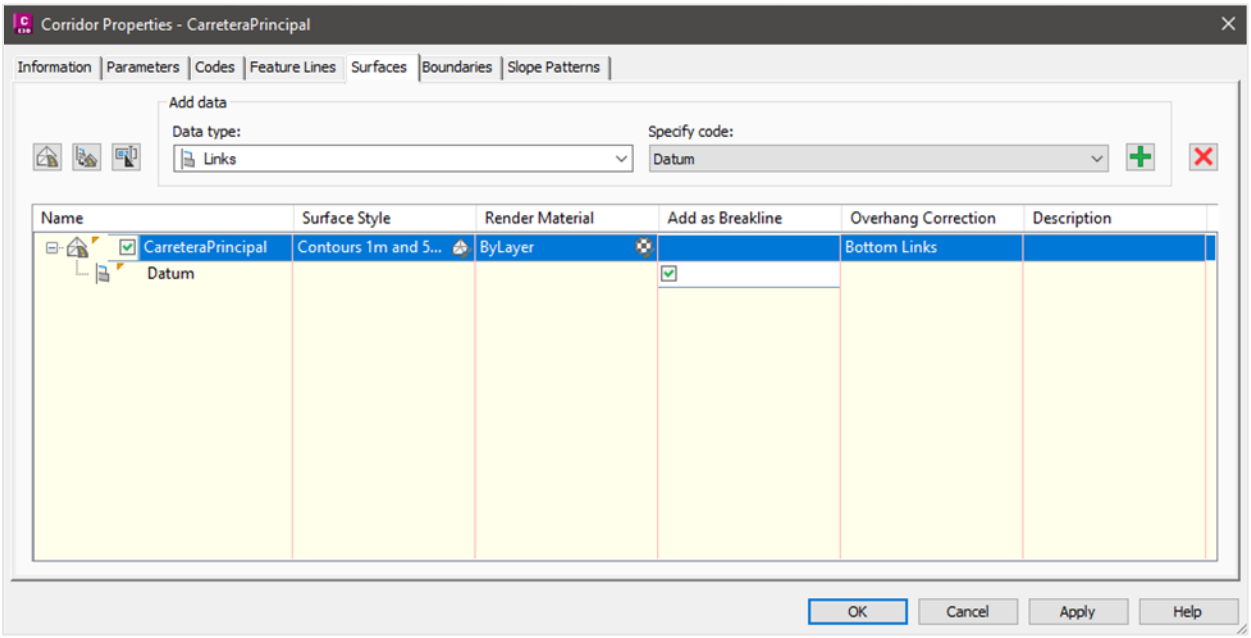
Imagen 127. Propiedades y regiones del corredor.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación de este proceso es importante recordar la creación de la superficie del corredor creado, esto para llevar a cabo el cálculo de volúmenes.

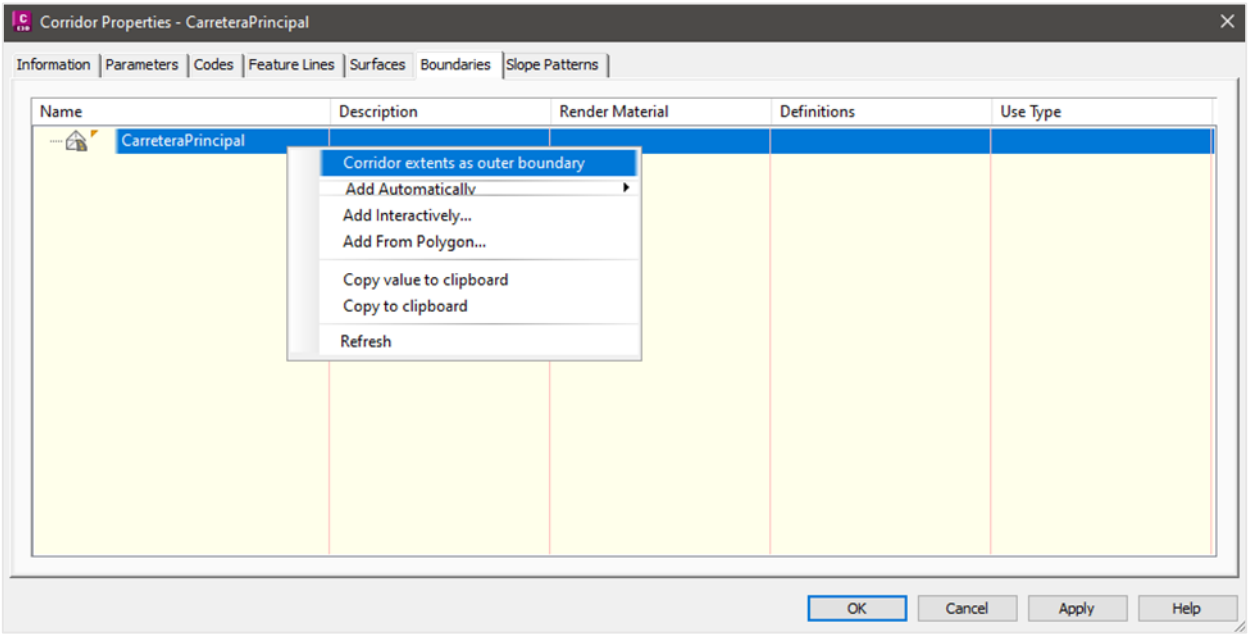
Imagen 128. Seleccionar la superficie de la carretera en las propiedades del corredor.



Fuente: Elaboración propia.

Igualmente se debe crear en la sección “Boundaries” el límite de la superficie, para el ejemplo se selecciona como limite el corredor, por lo cual se da clic derecho en el corredor creado, llamado para este ejemplo “CarreteraPrincipal” y se selecciona la opción “Corridor extents as outer boundary”.

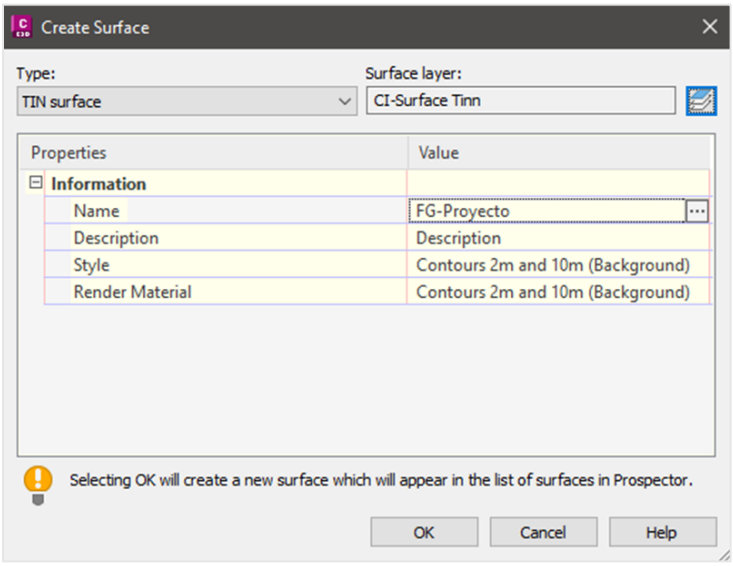
Imagen 129. Seleccionar la opción “Corridor extents as outer boundary” en las propiedades del corredor.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez creada la superficie del corredor y verificar que esta cumpla con lo requerido por el proyecto, se recomienda unificar las superficies para tener todo lo modelado en el proyecto en un solo elemento, para esto en el ejemplo se crea la superficie llamada “FG-Proyecto”.

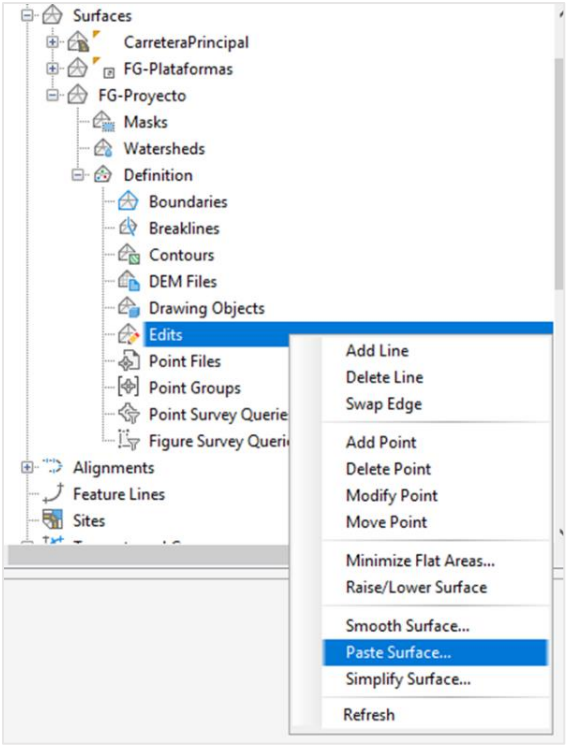
Imagen 130. Creación superficie final que unifica el trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

En la sección “Definition” se selecciona la herramienta “Edits” y “Paste Surface” para añadir la superficie de las plataformas y la del corredor.

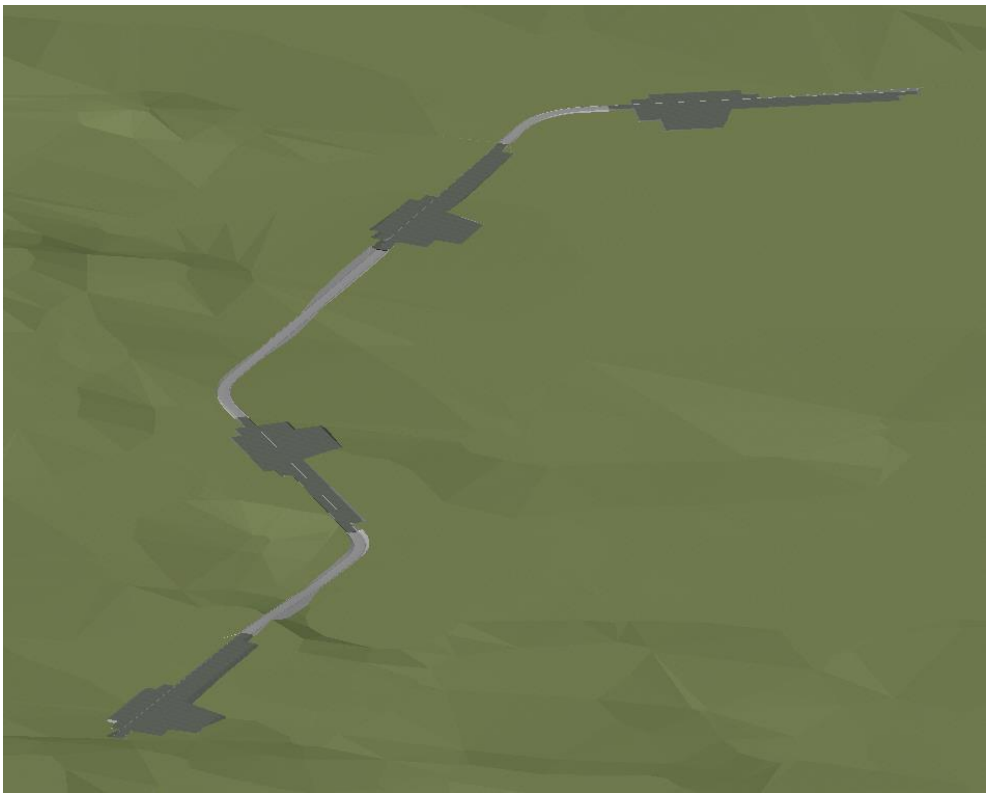
Imagen 131. Se añade la superficie de las plataformas y la del corredor a la superficie final.



Fuente: Elaboración propia.

Así podemos visualizar como en la misma superficie tenemos todos los elementos modelados sobre el terreno natural, es decir cómo debería ser nuestra superficie final.

Imagen 132. Visualización superficie final.

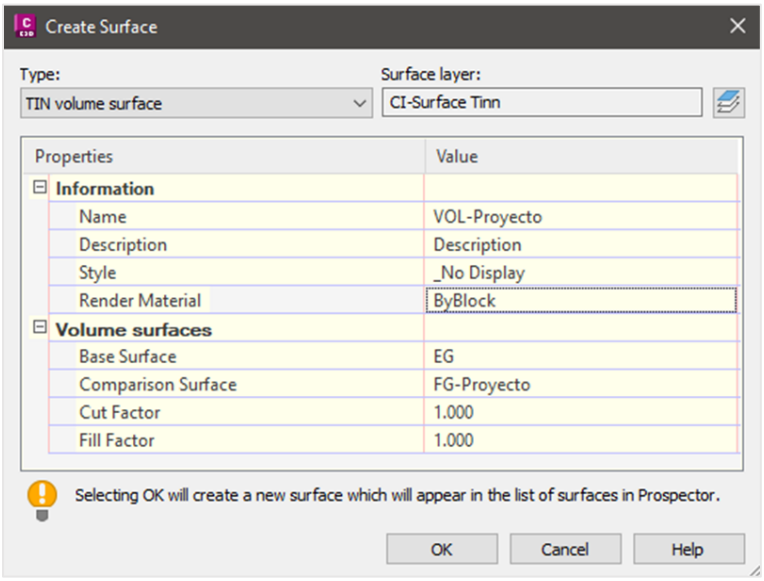


Fuente: Elaboración propia.

Cubicaciones

Al tener modeladas todas las superficies y haberlas unificado satisfactoriamente, la cubicación del proyecto se puede realizar fácilmente comparando la superficie final con la superficie del terreno inicial. Para llevar a cabo este procedimiento se crea la superficie de volumen denominada en Civil3D como “TIN Volume Surface”.

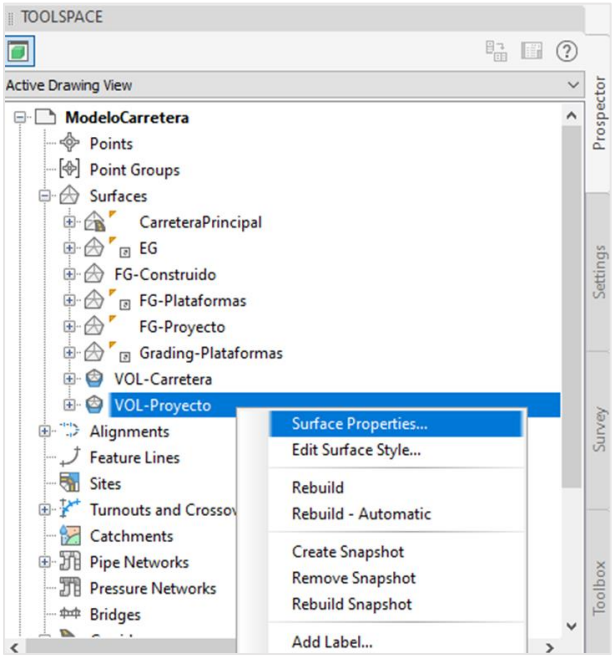
Imagen 133. Creación nueva superficie.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez creada la superficie de volumen se identifica la herramienta “Surface Properties”, dando clic derecho sobre la superficie en el “Toolspace” o seleccionándola en el espacio modelo y buscando la opción “Surface Properties” en la barra de herramientas.

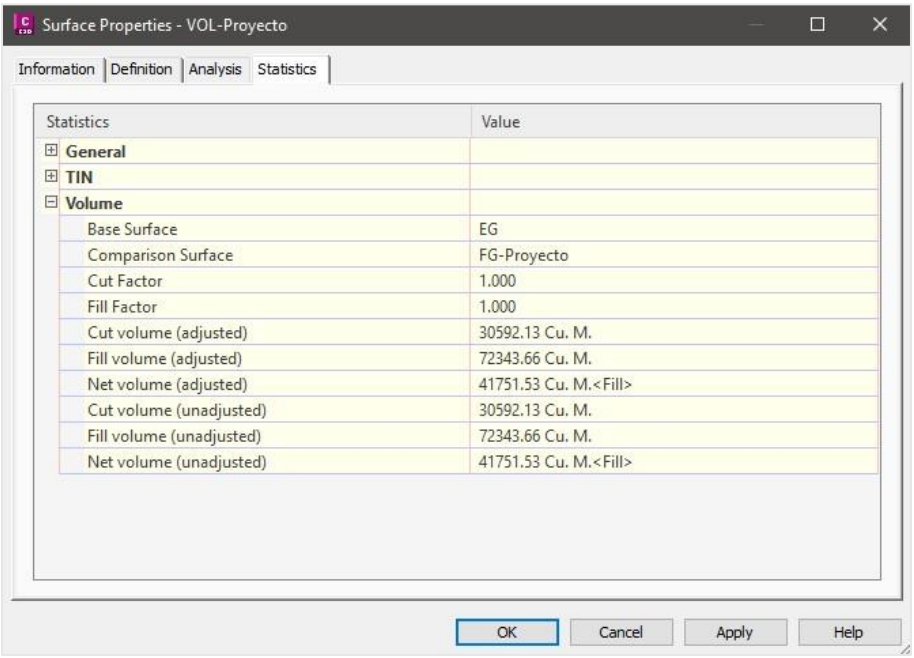
Imagen 134. Seleccionar "Surface Properties" en la nueva superficie.



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar sobre “Surface Properties” se abre la siguiente ventana, en la cual al dirigirse a la pestaña “Statistics” y desplegar la sección “Volume”, se encuentran los volúmenes de corte y relleno que conllevara el proyecto.

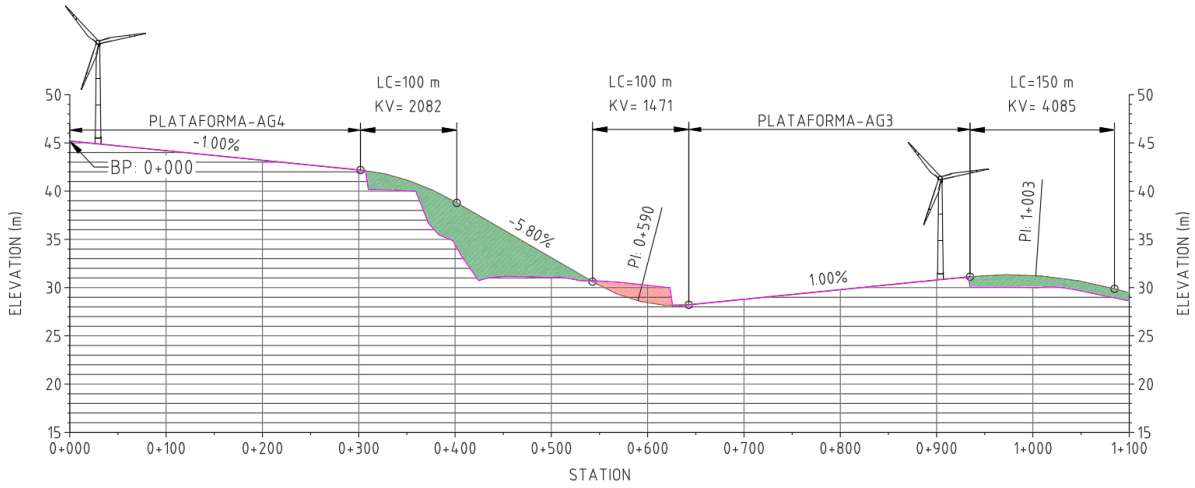
Imagen 135. Visualización volúmenes de corte y relleno totales.



Fuente: Elaboración propia.

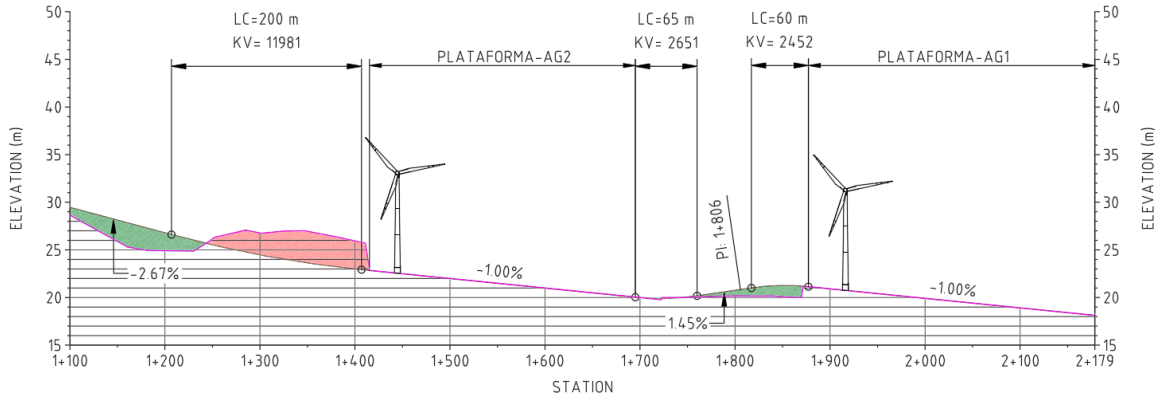
El procedimiento de obtener cantidades se puede extender a varios métodos y formas de presentación, sin embargo, considerando la etapa de prefactibilidad como etapa en la que se desarrolla esta monografía, resulta suficiente el conocimiento masivo de los movimientos de tierra. De ser necesario para el proyecto trabajado obtener información más detallada, se pueden obtener resultados más específicos con los elementos modelados hasta el momento aplicando las herramientas que ofrece Civil3D.

Imagen 136. Visualización perfil de la carretera K0+000 hasta K1+100.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 137. Visualización perfil de la carretera K1+100 hasta K2+179.



Fuente: Elaboración propia.

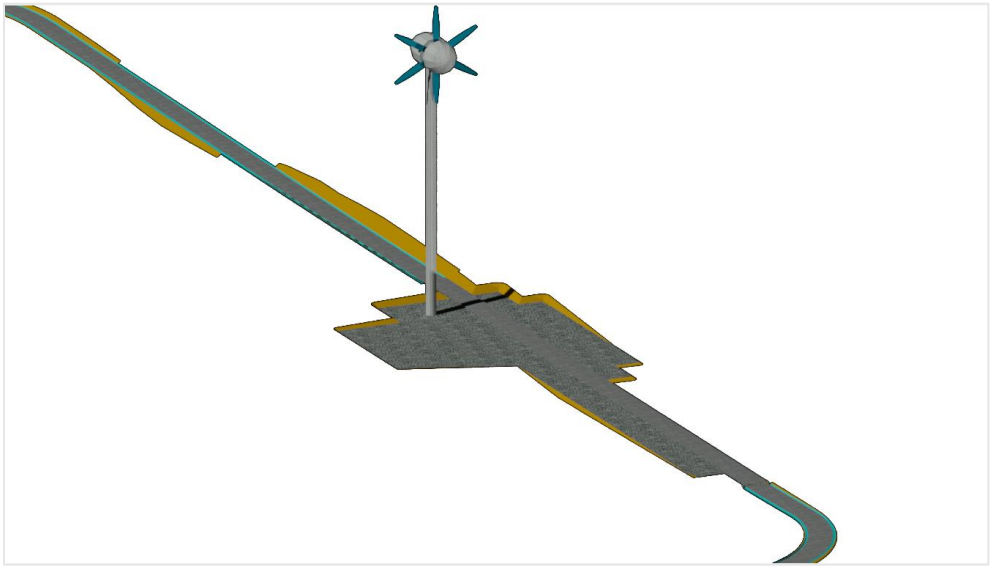
En el perfil se observa que se utilizan curvas verticales al inicio y al final de cada plataforma. Esto se realiza con el objetivo de nivelar el terreno con la plataforma y la carretera, evitando cambios abruptos de altura. Se recomienda asignar valores cerrados a la longitud de curva, verificar que no se exceda la pendiente máxima permitida en la carretera, que en este caso es del 8%, y asegurarse de que los valores de Kv no sean menores a 750.

Imagen 138. Visualización superficie final.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 139. Visualización diseño final plataforma con aerogenerador y carretera.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las imágenes inmediatamente anteriores, es claro que el diseño en Civil3D no solo permite conocer de manera exacta el volumen de movimiento de tierras del proyecto en su totalidad, además, permite visualizar de manera efectiva y acertada las partes del proyecto permitiendo dimensionar el trabajo que se planea ejecutar.

Entregables Básicos del Parque Eólico

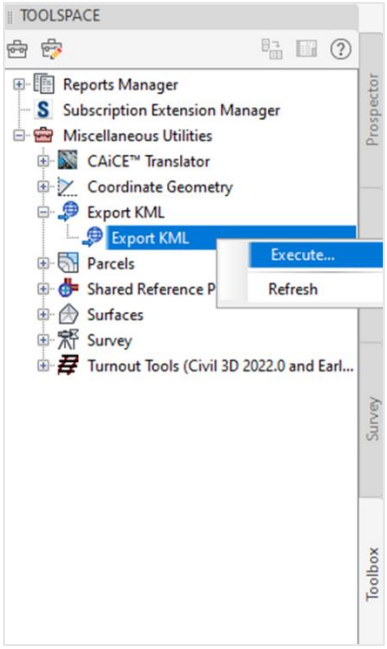
Los entregables básicos del parque eólico incluyen una serie de documentos y elementos clave que son necesarios para el desarrollo y la implementación exitosa del proyecto. Estos entregables son fundamentales para garantizar una planificación eficiente, una construcción adecuada y un funcionamiento óptimo del parque eólico.

Creación de KML

Para la presentación de resultados se recomienda crear un KML del proyecto, con el fin de tener una visualización más accesible para todos los colaboradores del proyecto, y puedan valerse de las herramientas de Google Earth para tomar decisiones, esto teniendo en cuenta que puede que todos los involucrados no cuenten con las licencias de los softwares.

Para esto en la sección de “Toolspace” en la pestaña de “Toolbox” se identifica la herramienta “Export KML”, en donde se selecciona “Execute”, para poder crear el archivo de presentación en Google Earth.

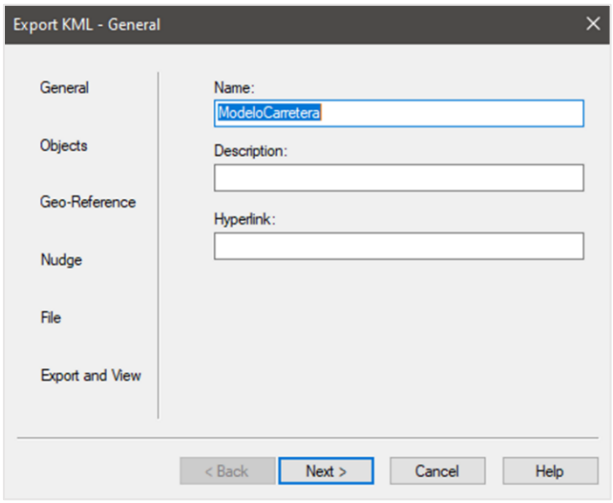
Imagen 140. Seleccionar Execute” en la sección de "Toolspace"



Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo los pasos anteriores, se abrirá la ventana presentada a continuación, en donde en su primera sección “General”, se asigna un nombre y descripción al archivo.

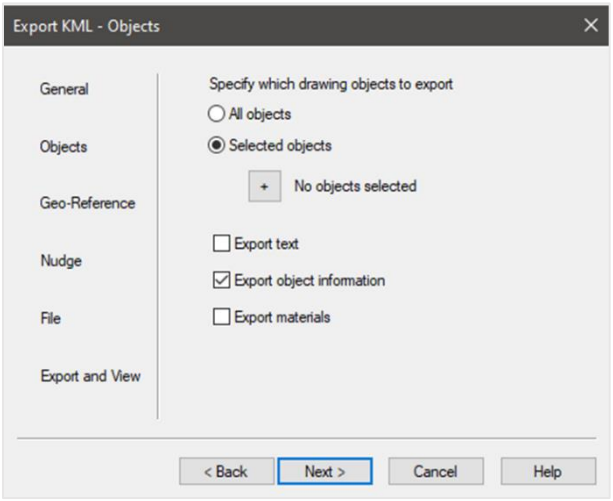
Imagen 141. Asignar nombre y descripción al archivo.



Fuente: Elaboración propia.

Se selecciona “Next” y esto conduce a la sección “Objects”, en donde se deben seleccionar los objetos que se desean presentar en el archivo KML. La configuración dependerá de la información que se desea presentar, para el ejemplo se selecciona solo la superficie final y algunos aerogeneradores en 3D para mejorar la visualización de las plataformas.

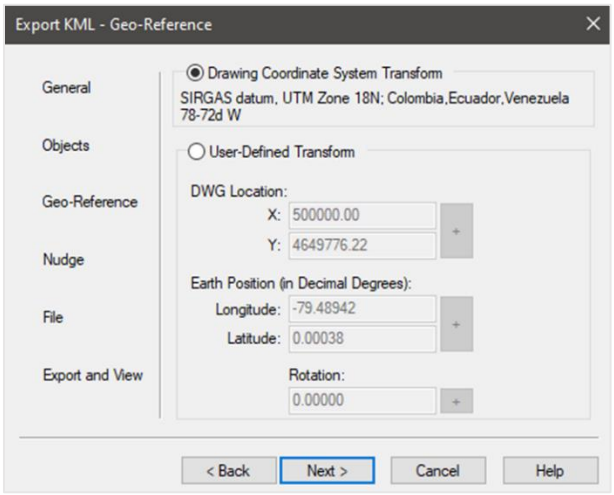
Imagen 142. Seleccionar los objetos que se desee visualizar en el archivo KML.



Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente se selecciona “Next” y se pasa a la siguiente sección “Geo-Reference”, en donde se debe asegurar que el sistema de coordenados corresponda al sistema trabajado en el proyecto.

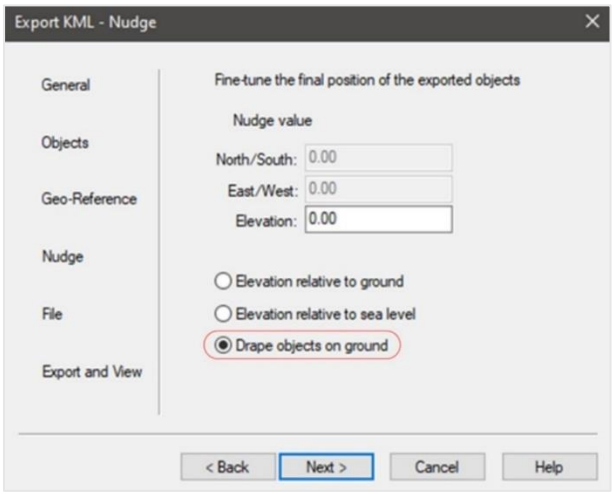
Imagen 143. Ajuste del sistema de coordenadas del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez más se selecciona “Next” y pasa a la sección “Nudge” en donde se recomienda seleccionar la opción “Drape objects on ground”, para que los objetos queden sobre el terreno presentado por Google Earth, sin embargo, se deben seleccionar las opciones más adecuadas para cada proyecto.

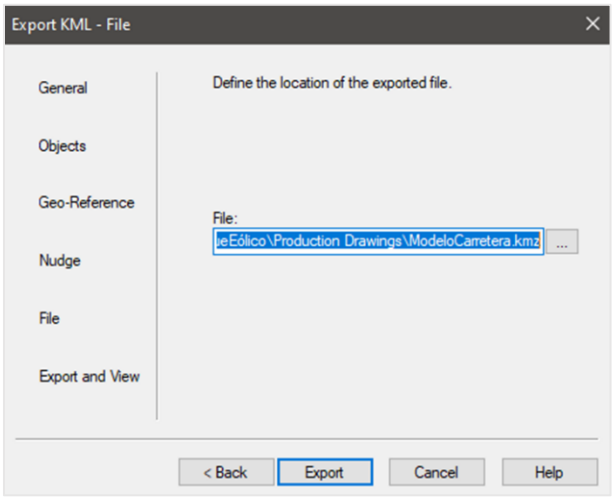
Imagen 144. Seleccionar “Drape objects on ground”.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la sección “File” se selecciona la carpeta en la que se desea exportar el KML, y seguido de ello, el archivo está listo para ser visualizado en Google Earth.

Imagen 145. Seleccionar la carpeta en donde se debe guardar el archivo KML.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez configurado y generado correctamente el archivo KML, se encuentra listo para visualizar en Google Earth, en el caso del ejemplo de diseño, se visualiza de la siguiente manera:

Imagen 146. Visualización archivo KML diseño final.



Fuente: Elaboración propia.

Modelo Navisworks

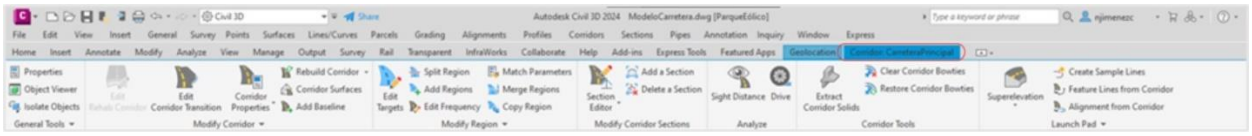
Aunque para la etapa de prefactibilidad es poco probable que se requiera modelar el diseño final en Navisworks, partiendo del objetivo de esta monografía que es implementar la metodología BIM y realizando una proyección en cuanto a continuar el trabajo sin perdidas de información; se presenta como a partir de los modelos trabajados en este ejemplo, es posible generar un archivo para el modelado en Navisworks y una programación en las siguientes etapas del proyecto.

Para esto se recomienda crear un archivo nuevo con los elementos a visualizar en Navisworks como sólidos, para suprimir aquellos elementos de diseño de Civil3D que no son necesarios.

Exportación del Corredor como Sólido:

Para iniciar, en Civil3D se selecciona la pestaña del corredor anteriormente creado en la barra de herramientas, como se muestra en la siguiente imagen:

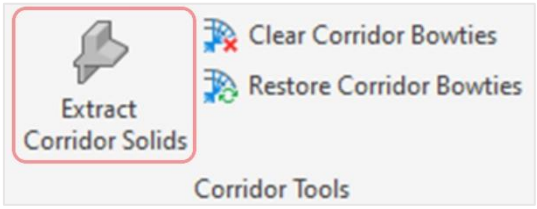
Imagen 147. Seleccionar la pestaña del corredor en la barra de herramientas.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionada la ventana del corredor, dentro de las diferentes opciones que se ofrecen, se identifica la sección “Corridor Tools” y se selecciona la herramienta “Extract Corridor Solids”, como se muestra a continuación:

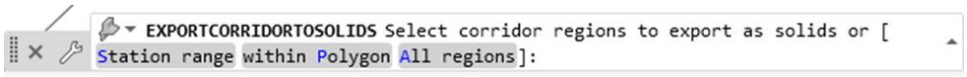
Imagen 148. Seleccionar “Extract Corridor Solids” en la pestaña de herramientas del corredor.



Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar “Extract Corridor Solids” se despliega en la barra de comandos las siguientes opciones, en donde se selecciona “All regions” como se muestra a continuación:

Imagen 149. Seleccionar "All regions" en la barra de comandos.

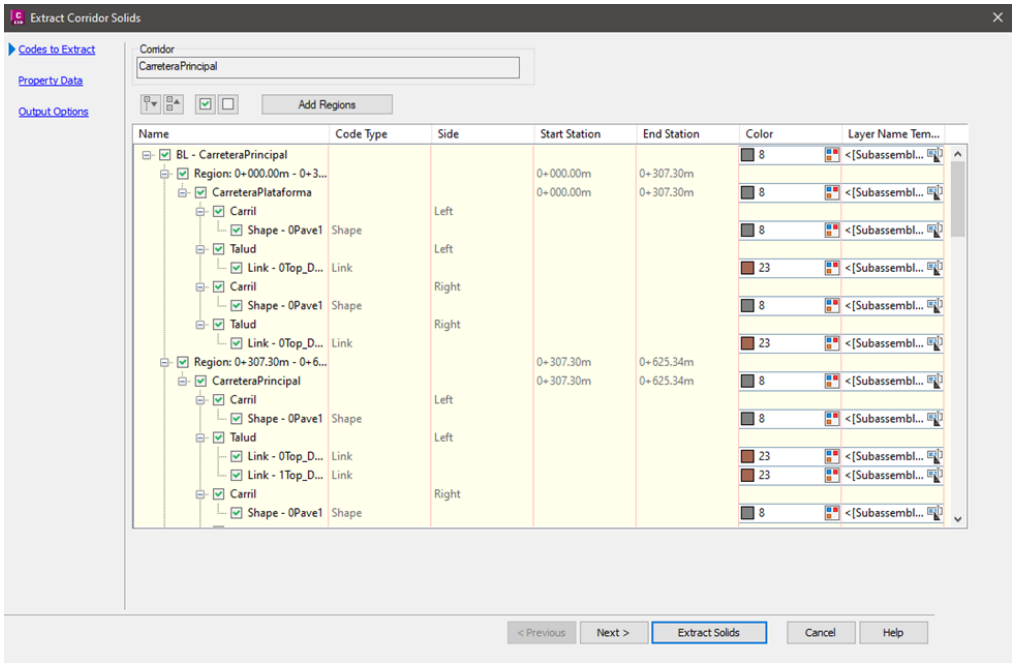


Fuente: Elaboración propia.

Esta selección se realiza con el objetivo de cargar los sólidos de todas las regiones; esto puede variar según las necesidades del proyecto y la configuración de las regiones que se haya realizado previamente.

Una vez seleccionadas todas las regiones, se desplegará la ventana que se muestra a continuación. En la sección “Codes to Extract” se configura la visualización y los elementos que se desean generar como solidos para ser presentados en Navisworks.

Imagen 150. Configurar la visualización y elementos en la ventana “Codes to Extract”.

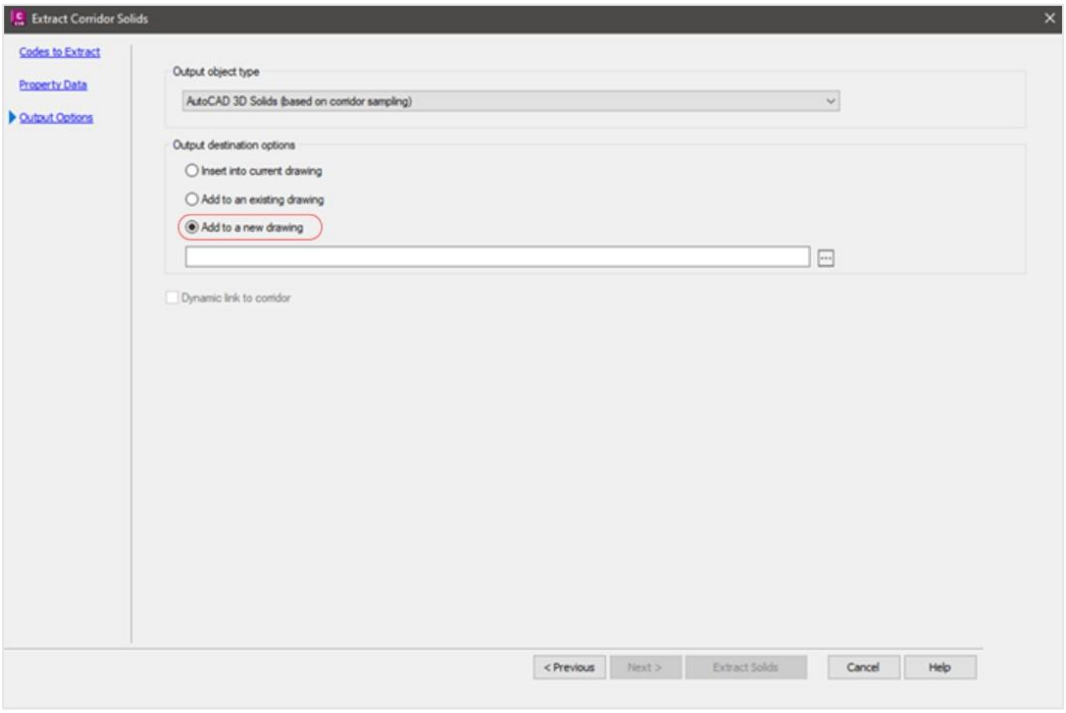


Fuente: Elaboración propia.

Seguido de ello, en la sección de “Output Options”, se recomienda seleccionar “Add to a new drawing” en donde como su nombre lo indica, se añade a un nuevo dibujo para exportar los

sólidos directamente en el archivo que se crea para abrir en Navisworks y no afectar el archivo del modelo.

Imagen 151. Seleccionar "Add to a new drawing" en la sección de “Output Options".



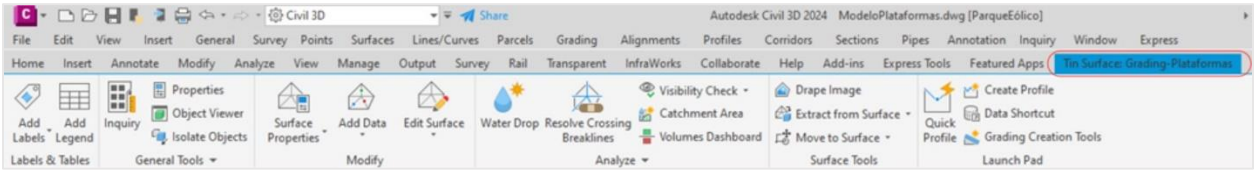
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, al añadir un nuevo dibujo para exportar los sólidos directamente en el archivo para abrir en Navisworks, el siguiente paso es exportar la superficie como sólido.

Exportación de la Superficie como Sólido:

Para obtener un producto similar al de los corredores, se selecciona la superficie de las plataformas generado en el modelo de las plataformas para poder visualizar la pestaña de las herramientas de este elemento.

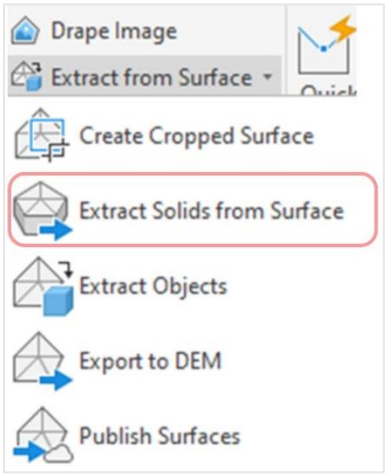
Imagen 152. Seleccionar la pestaña de la superficie de las plataformas.



Fuente: Elaboración propia.

En la pestaña de la superficie de las plataformas se identifica la sección de “Surface Tools” y allí se selecciona el menú desplegable “Extract from Surface”, en donde se elige “Extract solids from Surface”

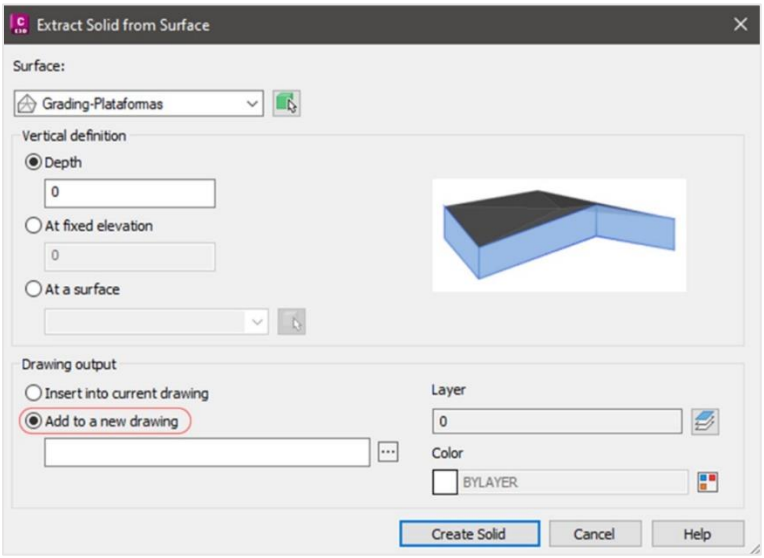
Imagen 153. Seleccionar “Extract solids from Surface”.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionada la opción que se indica en la imagen, se despliega la siguiente ventana en donde se configura el sólido a generar. Se recomienda seleccionar “Add to a new drawing” para no afectar el archivo del modelo.

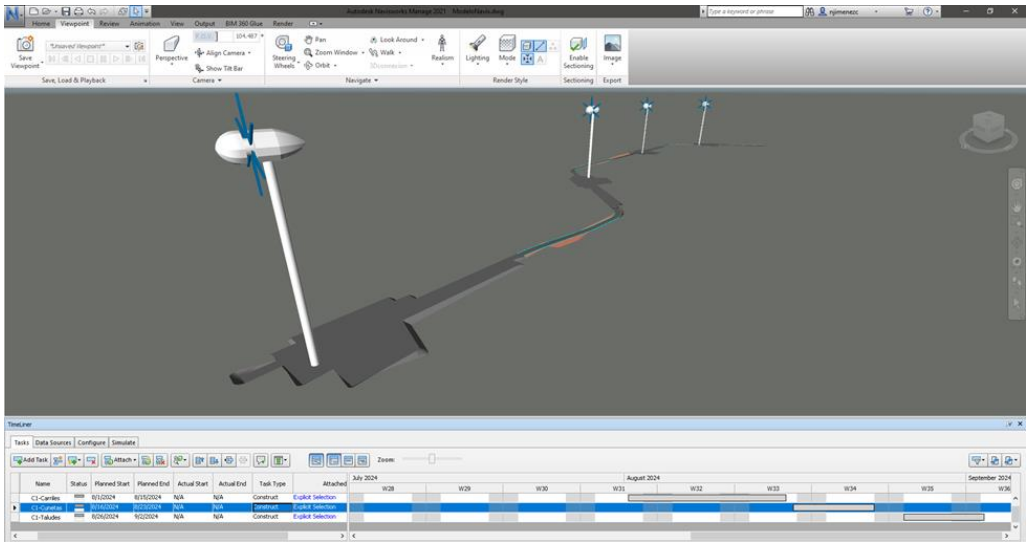
Imagen 154. Configurar el sólido a generar y seleccionar “Add to a new drawing”.



Fuente: Elaboración propia.

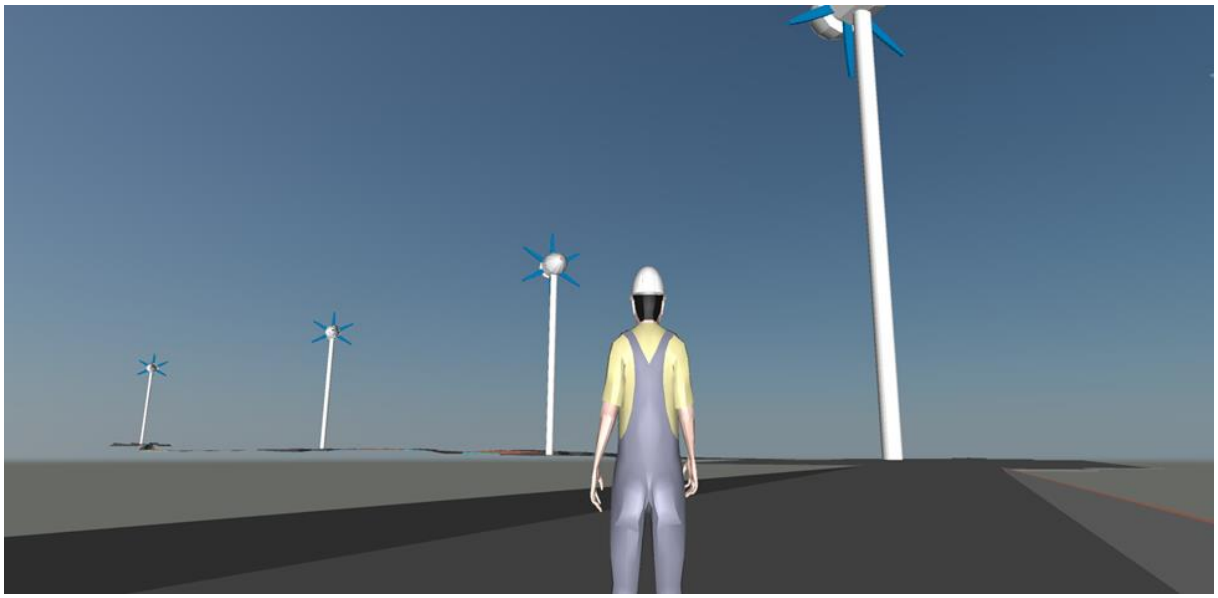
Una vez exportados los sólidos necesarios en su totalidad, se guarda el archivo quedando listo para la visualización en Navisworks y poder trabajarlo de la manera que más convenga de acuerdo con las necesidades del proyecto.

Imagen 155. Visualización modelo final en Navisworks.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 156. Visualización modelo final en Navisworks desde otra perspectiva.



Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, aunque es poco probable que se necesite modelar el diseño final en Navisworks durante la etapa de prefactibilidad, el seguimiento de los pasos detallados en este capítulo garantiza un resultado final significativo. Después de la implementación exitosa de la metodología BIM a través de los tres softwares, se logra una comprensión clara de la proyección del proyecto y se permitiría la programación en las etapas posteriores del mismo.

Análisis y Discusión de los Resultados

En este apartado, se analizará y discutirá cómo la guía propuesta puede apoyar a la falta de información disponible para el diseño de plataformas de aerogeneradores y de sus carreteras para parques eólicos en Colombia en su fase de prefactibilidad, teniendo en cuenta su importancia en el contexto actual en la transformación energética.

Se presentarán, en primer lugar, las formas específicas en que la guía aborda las barreras identificadas, proporcionando información centralizada y metodologías claras para un diseño optimo e integrable al BIM.

A continuación, se definirán los criterios metodológicos y prácticos para evaluar la efectividad de la monografía, asegurando que las soluciones propuestas sean relevantes, aplicables y comprensibles. Este análisis permitirá demostrar cómo la guía contribuye a mejorar la viabilidad y la implementación de proyectos eólicos en el país.

Superando la falta de Información

Una de las principales barreras para el desarrollo de parques eólicos en Colombia es la falta de información pública y recursos técnicos adecuados para el diseño y construcción de estos proyectos. Esta guía proporciona una solución integral mediante la recopilación, sistematización y presentación de datos esenciales y metodologías específicas que facilitan la ejecución del diseño de las plataformas y carreteras en la fase de prefactibilidad de un parque eólico.

Centralización y Accesibilidad de Información

La guía compila información sobre los datos geoespaciales, criterios de diseño para plataformas y carreteras, datos geotécnicos relevantes, y demás datos relevantes en un proyecto de parque eólico, haciendo uso de la metodología BIM (Building Information Modeling) como alternativa para optimizar el trabajo colaborativo en el modelado y análisis del terreno. Al

centralizar la información de los modelos y hacerla accesible a ingenieros, diseñadores y planificadores, eliminando así las barreras relacionadas con la dispersión y la inaccesibilidad de datos cruciales.

Metodologías Estándar para el Diseño

La guía proporciona metodologías estándar y procedimientos claros para el diseño de plataformas de aerogeneradores y las carreteras, lo que reduce la incertidumbre y la variabilidad en la calidad de los proyectos. La guía incluye especificaciones detalladas sobre los terrenos más adecuados, tipos de vehículos para transporte interno y otros criterios de diseño fundamentales, información basada en los requerimientos de los proveedores de aerogeneradores más importantes en los últimos años y con participación en Colombia.

Facilitación de la Evaluación de Impacto Ambiental

Al ofrecer directrices precisas y detalladas, la guía también facilita la realización de evaluaciones de impacto ambiental más eficientes y exhaustivas. Esto permite a los desarrolladores cumplir con las normativas ambientales más rigurosas, mejorando la viabilidad y la aceptación de los proyectos, permitiendo entregar la información requerida por las autoridades ambientales como las cubicaciones de los movimientos de tierra de manera eficiente y precisa.

Criterios Metodológicos y Prácticos para Evaluar la Monografía

Para evaluar la efectividad y la relevancia de esta guía en la superación de las barreras identificadas, se han establecido varios criterios metodológicos y prácticos por medio de la siguiente tabla:

Tabla 8 - Criterios Metodológicos y Prácticos para Evaluar la Monografía.

	Criterio	**Evaluación**
Relevancia y Actualidad de la Información	La información presentada debe ser relevante y actualizada, reflejando los últimos avances tecnológicos y normativos en el ámbito de la energía eólica.	Verificar que las fuentes de datos y referencias utilizadas en la guía sean recientes y de autoridades reconocidas en el campo.
Integración de Herramientas Avanzadas	La guía debe integrar el uso de herramientas avanzadas como el BIM para el modelado y análisis del terreno.	Revisar la implementación de estas herramientas en el ejemplo práctico presentado.
Aplicabilidad y Practicidad	Las metodologías y procedimientos propuestos deben ser aplicables y prácticos para las condiciones específicas de Colombia.	Verificar que la información y herramientas implementadas en el ejemplo práctico son accesibles y comunes en el país.
Complejidad y Comprensibilidad	La guía debe ser comprensible y utilizable tanto por expertos como por nuevos actores en el campo de la energía eólica.	Revisar que en la guía se contemplan conceptos básicos sobre el campo de la energía eólica para contextualizar el diseño, siendo estos lo más claro posible para cualquier lector.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se encuentra que este apartado ha presentado un análisis detallado de cómo la guía propuesta supera la falta de información y recursos necesarios para el desarrollo de parques eólicos en Colombia. Asimismo, se han establecido criterios metodológicos y prácticos para evaluar la efectividad de la monografía. Al abordar estas barreras de manera integral, la guía no solo facilita la planificación y ejecución de proyectos eólicos, sino que también promueve una mayor diversificación de la matriz energética del país, contribuyendo a una mayor sostenibilidad y resiliencia frente a los desafíos climáticos.

Recomendaciones

Dado el papel crucial que juegan diversos actores en el desarrollo y optimización de parques eólicos en Colombia, se presentan a continuación recomendaciones específicas para la academia, los profesionales, la industria y el sector de la energía, así como para los responsables de políticas públicas. Estas recomendaciones están diseñadas para maximizar el impacto positivo de la guía propuesta, fomentando la adopción de mejores prácticas, la colaboración interdisciplinaria y la innovación tecnológica en el campo de la energía eólica.

Recomendaciones para los Profesionales que Usen la Guía

Aplicación Práctica:

1. Utilizar la guía como información básica para el desarrollo de proyectos de parque eólico en su fase de prefactibilidad, siendo el profesional responsable de seguir las mejores prácticas y estándares establecidos, además de complementar los procedimientos al nivel de detalle requerido.
2. La guía muestra información para desarrollar un ejemplo práctico de diseño de plataformas y carreteras, pero en ningún caso estos datos son aplicables a un proyecto real, el profesional debe remitirse a datos específicos para elaborar el diseño adecuado según las condiciones de su proyecto.
3. En la guía se presentan los análisis básicos para una prefactibilidad en el diseño de plataformas para aerogeneradores y sus carreteras, pero se puede requerir información adicional, como diseño de intercepciones, áreas de giro, sistemas de drenaje, cruces en puentes, y para ello se recomienda remitirse a los catálogos e información de los proveedores de aerogeneradores, donde se puede encontrar información más detallada,

además de apoyarse en expertos del campo de la energía eólica, ya que esta guía solo pretende dar un camino base.

Actualización Continua:

1. Mantenerse actualizado con la ultimas normativas, procesos y las tecnologías relacionadas con el diseño de parques eólicos, ya que, aunque la presente guía da a conocer una posible solución de procedimientos a seguir, es necesario conocer los últimos avances y requerimientos de la industria a la hora de ejecutar un proyecto.
2. Participar en cursos de actualización y certificaciones profesionales que refuercen el conocimiento y uso de las metodologías presentadas en la guía.

Recomendaciones para la Academia

Integración en Planes de Estudio:

1. Incluir la guía en los programas de ingeniería civil, ambiental y relacionados con la industria energética para que los estudiantes se familiaricen con las metodologías de diseño de parques eólicos, considerando asesorar los temas presentados.
2. Desarrollar cursos y talleres específicos sobre la metodología BIM y los softwares relacionados para el modelado y análisis de proyectos, ya que es fundamental el conocimiento básico de estos para el correcto uso de este tipo de guías.

Fomento de la Investigación:

1. Promover proyectos de investigación que analicen y mejoren las metodologías propuestas en la guía, teniendo en cuenta que esta guía se enfoca en la fase de prefactibilidad y el diseño especifico de plataformas y carreteras, por lo cual existen varios elementos por trabajar en distintas fases del proyecto.

2. Colaborar con la industria para realizar estudios de caso y validaciones en campo, contribuyendo al enriquecimiento y actualización constante de la guía.
3. Fomentar la realización de tesis y proyectos de grado enfocados en el diseño y optimización de parques eólicos, utilizando la guía como referencia.

Recomendaciones para la Industria y el Sector de la Energía

Adopción de Estándares:

1. Adoptar las metodologías y estándares propuestos en la guía como parte de los procedimientos internos de diseño y construcción de parques eólicos.
2. Incentivar la implementación de tecnologías avanzadas como BIM en los procesos de planificación y ejecución de proyectos.

Colaboración Público-Privada:

1. Fomentar alianzas con entidades académicas y gubernamentales para la realización de estudios de factibilidad y validación de metodologías en diferentes regiones del país.
2. Participar en programas de subsidios y financiamiento que apoyen la investigación y desarrollo en energía eólica.

Sostenibilidad y Responsabilidad Social:

1. Priorizar el uso de la guía para asegurar que los proyectos de energía eólica sean sostenibles y respetuosos con el medio ambiente y las comunidades locales.
2. Implementar prácticas de monitoreo y mantenimiento continúo basadas en las recomendaciones de la guía para asegurar la longevidad y eficiencia de los parques eólicos.

Recomendaciones para los Responsables de Políticas Públicas

Desarrollo de Normativas:

1. Utilizar la guía como referencia para desarrollar normativas y regulaciones que promuevan el diseño y construcción eficiente de parques eólicos.
2. Establecer políticas que incentiven el uso de tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles en el sector energético.

Fomento de la Transparencia y Acceso a la Información:

1. Crear mecanismos que faciliten el acceso público a la información relevante sobre recursos eólicos y estudios técnicos.
2. Incentivar la colaboración entre entidades que recopilan datos y desarrollan estudios, para asegurar que la información esté disponible y sea útil para todos los actores involucrados.

Apoyo a la Innovación:

1. Promover programas de apoyo a la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector de las energías renovables.
2. Facilitar la creación de fondos de investigación y desarrollo que permitan la aplicación de nuevas metodologías y tecnologías en el diseño de parques eólicos.

Conclusiones

La presente monografía ha abordado la necesidad de optimizar el diseño de plataformas de aerogeneradores y sus carreteras para parques eólicos en Colombia, proporcionando una guía metodológica que responde a las barreras y los desafíos identificados en el contexto del desarrollo de energías renovables no convencionales, es así como se concluye lo siguiente:

1. Esta monografía ha evidenciado que, aunque los proyectos relacionados con energías renovables no convencionales no son un tema nuevo, una de las principales barreras para el desarrollo de parques eólicos en Colombia es la falta de información adecuada. La guía propuesta en el primer capítulo aborda esta barrera proporcionando una base de conocimientos sólida para contextualizar al lector sobre los temas relevantes al iniciar un proyecto de este tipo desde la perspectiva de la ingeniería civil.
2. En esta barrera de información para el desarrollo de parques eólicos en Colombia se encuentra también en la falta de recursos técnicos para el diseño de plataformas de aerogeneradores y sus carreteras. La guía propuesta centraliza y sistematiza datos básicos esenciales para el diseño de estos elementos. Esto se puede evidenciar en el desarrollo del capítulo dos en donde se compila los principales criterios de diseño basados en los requerimientos presentados por varios proveedores líderes de la industria de la energía eólica.
3. Una barrera significativa para el desarrollo de parques eólicos en Colombia es la falta de recursos técnicos adecuados para el diseño de plataformas de aerogeneradores y sus carreteras. La guía propuesta en esta monografía aborda esta barrera al centralizar y sistematizar los datos esenciales necesarios para el diseño de estos elementos. Esto se puede evidenciar en el capítulo dos de la guía en donde se destaca cómo se han compilado los principales criterios de diseño basados en los requerimientos de varios proveedores líderes en

la industria de la energía eólica. Esta recopilación no solo facilita el acceso a información crucial, sino que también estandariza los parámetros de diseño, lo que permite a los ingenieros y diseñadores trabajar con una base de datos confiable y uniforme.

4. Uno de los desafíos principales abordados por la guía es la implementación de metodologías claras y el uso de tecnologías avanzadas para optimizar el diseño, lo cual permite un enfoque más riguroso y detallado en la planificación y ejecución de parques eólicos. Este enfoque se evidencia especialmente en el capítulo tres, donde se destaca el uso de software que trabaja dentro del entorno BIM (Building Information Modeling). La guía recomienda el uso de Autodesk Construction Cloud como el ambiente virtual de trabajo, Civil3D como el software de modelado y Navisworks como una alternativa para la visualización, revisión y posibles programaciones en etapas futuras del proyecto. Estos programas integran de manera efectiva las dimensiones iniciales propuestas por la metodología BIM, proporcionando herramientas robustas para el modelado, análisis y gestión de los proyectos eólicos.
5. En esta monografía se han abordado los temas relacionados con las plataformas y carreteras de los aerogeneradores, elementos cruciales en el diseño de parques eólicos. Sin embargo, es importante reconocer que un parque eólico comprende muchos más componentes y etapas que no se han tratado en profundidad en esta guía. La información presentada debe ser complementada con un enfoque integral que abarque todos los aspectos del desarrollo de un parque eólico.
6. Esta monografía ha presentado una guía metodológica detallada y bien estructurada para superar las barreras del desarrollo de parques eólicos en Colombia. La centralización de información, el uso de herramientas avanzadas y la estandarización de metodologías no solo facilitan la planificación y ejecución de proyectos, sino que también contribuyen a la

diversificación energética y la sostenibilidad ambiental del país. La adopción y aplicación de esta guía por parte de todos los actores involucrados es crucial para aprovechar el vasto potencial eólico de Colombia y avanzar hacia un futuro energético más limpio y sostenible.

Índice de Imágenes

Imagen 1. Mapa de pendientes de Colombia. 19
Imagen 2. Mapa de pendientes de Colombia (Zoom en el departamento de La Guajira). 20
Imagen 3. Diferentes perfiles de la velocidad del viento según el emplazamiento. 29
Imagen 4. Elementos de un talud. 41
Imagen 5. Convenciones ejemplos de esquemas de las plataformas. 44
Imagen 6. Ejemplo 1 esquema plataforma de aerogenerador. 45
Imagen 7. Ejemplo 2 esquema plataforma de aerogenerador. 45
Imagen 8. Ejemplo 3 esquema plataforma de aerogenerador. 45
Imagen 9. Ejemplo 4 esquema plataforma de aerogenerador. 46
Imagen 10. Esquema plataforma de aerogenerador. 46
Imagen 11. Zona montaje de pluma. 48
Imagen 12. Zona de almacenamiento. 49
Imagen 13. Zona de acopio de palas. 50
Imagen 14. Zona de trabajo de la grúa. 51
Imagen 15. Esquema área plataforma de aerogenerador. 52
Imagen 16. Geometría general fundación torre de aerogenerador. 53
Imagen 17. Esquema traslado pala de aerogenerador. 55
Imagen 18. Esquema elementos de la vía. 57
Imagen 19. Radios de giro. 57
Imagen 20. Kv mínimo. 58
Imagen 21. Pérdida de información durante el ciclo de vida del proyecto. 62
Imagen 22. Espacio de trabajo Autodesk Construction Cloud. 64
Imagen 23. Creación de la carpeta del proyecto en ACC. 67
Imagen 24. Pestaña "Manage" en la barra de herramientas. 67
Imagen 25. Creación New Shortcuts Folder. 68
Imagen 26. Ventana New Data Shortcut Folder. 68
Imagen 27. Vista carpetas de trabajo en ACC. 69
Imagen 28. Vista ubicación del ejemplo de diseño. 70
Imagen 29. Central eólica Jepírachi. 70
Imagen 30. Insumos cargados en el ACC. 71

Imagen 31. Vista puntos y áreas de trabajo importados. 72
Imagen 32. Archivo de superficie inicial en el ACC. 72
Imagen 33. Configuración superficie inicial. 73
Imagen 34. Ajuste sistema de coordenadas. 73
Imagen 35. Vista planta superficie inicial. 74
Imagen 36. Pestaña "Manage" en la barra de herramientas. 75
Imagen 37. Creación Data Shortcuts. 75
Imagen 38. Configuración creación Data Shortcut. 76
Imagen 39. Selección propiedades de superficie. 76
Imagen 40. Edición propiedades de superficie. 77
Imagen 41. Vista plano y cuadro de pendientes del terreno. 78
Imagen 42. Integración referencias externas. 79
Imagen 43. Incorporación del archivo de la superficie inicial al Data Shortcut. 80
Imagen 44. Creación referencia de la superficie inicial. 80
Imagen 45. Configuración creación referencia de la superficie inicial. 81
Imagen 46. Vista planta superficie y puntos de ubicación de los aerogeneradores. 82
Imagen 47. Bloque de referencia del diseño de la plataforma de los aerogeneradores. 83
Imagen 48. Vista superficie con la ubicación de las plataformas de aerogeneradores. 84
Imagen 49. Opciones "Create design" en la pestaña "Home". 85
Imagen 50. Seleccionar Create Feature Lines from Objects". 85
Imagen 51. Configuración creación "Feature Line". 86
Imagen 52. Asignación elevaciones "Feature Line". 86
Imagen 53. Selección "Elevation Editor". 87
Imagen 54. Análisis pendientes de la plataforma a través de la ventana "Grading Elevation". 87
Imagen 55. Selección ícono editor de la etiqueta de elevación de la plataforma. 88
Imagen 56. Vista punto de etiqueta de elevación vs. punto de referencia. 88
Imagen 57. Seleccionar "Difference" para ajustar la diferencia de altura. 89
Imagen 58. Digitar cero como diferencia de altura. 89
Imagen 59. Verificación altura uniforme en la "Feature Line" de la plataforma. 89
Imagen 60. Seleccionar "Quick Elevation Edit". 90

Imagen 61. Seleccionar como punto de referencia el punto de la etiqueta de elevación. 90
Imagen 62. Digitar el grado de la pendiente de la plataforma. 91
Imagen 63. Verificación pendiente uniforme en la plataforma. 91
Imagen 64. Seleccionar "Grading" en la pestaña "Home". 92
Imagen 65. Seleccionar "Grading creation Tools". 92
Imagen 66. Seleccionar el primer ícono en la ventana "Grading creation Tools". 92
Imagen 67. Seleccionar el site creado donde se aloja lo desarrollado. 92
Imagen 68. Seleccionar el segundo ícono en la ventana "Grading creation Tools". 93
Imagen 69. Seleccionar la superficie trabajada. 93
Imagen 70. Seleccionar "Grade to Surface" como método de grading. 93
Imagen 71. Seleccionar "Create Grading Group". 94
Imagen 72. Configuración en la creación del "Grading Group". 94
Imagen 73. Creación de la superficie de las plataformas. 95
Imagen 74. Seleccionar en la ventana "Grading Creation Tools" la opción "Create Grading". 95
Imagen 75. Seleccionar la Feature Line de la plataforma. 96
Imagen 76. Seleccionar "Grading side" hacer clic afuera de la plataforma. 96
Imagen 77. Aceptar aplicar la configuración en toda la Feature Line. 96
Imagen 78. Elegir formato de pendiente de corte "Slope". 97
Imagen 79. Digitar pendiente de corte. 97
Imagen 80. Elegir formato de pendiente de relleno "Slope". 97
Imagen 81. Digitar pendiente de relleno. 97
Imagen 82. Seleccionar "Create Infill". 98
Imagen 83. Clic dentro de la plataforma para indicar área de relleno. 98
Imagen 84. Visualización plataforma con área de corte y relleno. 99
Imagen 85. Convenciones patrones de la plataforma, talud de corte y relleno. 100
Imagen 86. Visualización volumen de corte y relleno Plataforma 1. 100
Imagen 87. Visualización volumen de corte y relleno Plataforma 2. 101
Imagen 88. Visualización volumen de corte y relleno Plataforma 3. 101
Imagen 89. Visualización volumen de corte y relleno Plataforma 4. 102
Imagen 90. Visualización volumen de corte y relleno en 3D de una plataforma. 102

Imagen 91. Creación superficie nueva integrando superficie del terreno y de las plataformas. 103
Imagen 92. Integración superficie del terreno y de las plataformas. 104
Imagen 93. Visualización plataformas dentro de la superficie del terreno. 104
Imagen 94. Visualización movimiento de tierras en una plataforma. 105
Imagen 95. Seleccionar la pestaña "Manage" en la barra de herramientas. 105
Imagen 96. Creación de un nuevo Data Shortcut. 106
Imagen 97. Seleccionar la nueva superficie para crear el Data Shortcut. 106
Imagen 98. Seleccionar "Create Reference" para crear nuevo archivo. 107
Imagen 99. Configuración para crear la nueva referencia. 107
Imagen 100. Vista planta superficie terreno y plataformas. 108
Imagen 101. Trazado línea de ceros. 110
Imagen 102. Vista planta superficie terreno, plataformas y trazado inicial de la carretera. 112
Imagen 103. Dimensiones del camión que transporta las palas del aerogenerador. 113
Imagen 104. Seleccionar en la pestaña "Home" el menú desplegable "Alignment". 113
Imagen 105. Seleccionar "Create Alignment from Objects". 114
Imagen 106. Elegir la dirección del alineamiento en la barra de comandos. 114
Imagen 107. Configuración en la creación del alineamiento. 115
Imagen 108. Seleccionar en pestaña del alineamiento la herramienta "Geometry Editor". 115
Imagen 109. Seleccionar el ícono señalado en la configuración de las herramientas del alineamiento. 116
Imagen 110. Ajustar radios de giro en la ventana "Alignment Entities". 116
Imagen 111. Vista planta alineamiento de la carretera. 117
Imagen 112. Seleccionar en la pestaña "Home" el menú desplegable "Profile". 118
Imagen 113. Seleccionar "Create Surface Profile". 118
Imagen 114. Realizar el paso a paso para configurar la creación del perfil. 118
Imagen 115. Configurar el perfil a su preferencia y crearlo. 119
Imagen 116. Visualización perfil de la carretera. 119
Imagen 117. Seleccionar en la pestaña "Home" el menú desplegable "Profile". 120
Imagen 118. Seleccionar "Profile Creation Tools". 120
Imagen 119. Asignar nombre a la rasante del perfil. 121

Imagen 120. Seleccionar "Geometry Editor" en la ventana de la rasante. 122
Imagen 121. Seleccionar "Free Vertical Curve (Parabola)" en la ventana de ajustes de la rasante. 122
Imagen 122. Seleccionar K en la barra de comandos. 122
Imagen 123. Digitar en valor de K de acuerdo con el valor de Kv mínimo. 123
Imagen 124. Seleccionar el ícono señalado en la ventana de ajustes de la rasante. 123
Imagen 125. Configuración valores de la rasante. 124
Imagen 126. Esquemas ensamblaje. 125
Imagen 127. Propiedades y regiones del corredor. 126
Imagen 128. Seleccionar la superficie de la carretera en las propiedades del corredor. 126
Imagen 129. Seleccionar la opción “Corridor extents as outer boundary” en las propiedades del corredor. 127
Imagen 130. Creación superficie final que unifica el trabajo. 128
Imagen 131. Se añade la superficie de las plataformas y la del corredor a la superficie final. 128
Imagen 132. Visualización superficie final. 129
Imagen 133. Creación nueva superficie. 130
Imagen 134. Seleccionar "Surface Properties" en la nueva superficie. 130
Imagen 135. Visualización volúmenes de corte y relleno totales. 131
Imagen 136. Visualización perfil de la carretera K0+000 hasta K1+100. 132
Imagen 137. Visualización perfil de la carretera K1+100 hasta K2+179. 132
Imagen 138. Visualización superficie final. 133
Imagen 139. Visualización diseño final plataforma con aerogenerador y carretera. 133
Imagen 140. Seleccionar Execute” en la sección de "Toolspace" 134
Imagen 141. Asignar nombre y descripción al archivo. 135
Imagen 142. Seleccionar los objetos que se desee visualizar en el archivo KML. 135
Imagen 143. Ajuste del sistema de coordenadas del proyecto. 136
Imagen 144. Seleccionar “Drape objects on ground”. 136
Imagen 145. Seleccionar la carpeta en donde se debe guardar el archivo KML. 137
Imagen 146. Visualización archivo KML diseño final. 137
Imagen 147. Seleccionar la pestaña del corredor en la barra de herramientas. 138

Imagen 148. Seleccionar “Extract Corridor Solids” en la pestaña de herramientas del corredor. 138
Imagen 149. Seleccionar "All regions" en la barra de comandos. 139
Imagen 150. Configurar la visualización y elementos en la ventana “Codes to Extract”. 139
Imagen 151. Seleccionar "Add to a new drawing" en la sección de “Output Options". 140
Imagen 152. Seleccionar la pestaña de la superficie de las plataformas. 140
Imagen 153. Seleccionar “Extract solids from Surface”. 141
Imagen 154. Configurar el sólido a generar y seleccionar “Add to a new drawing”. 141
Imagen 155. Visualización modelo final en Navisworks. 142
Imagen 156. Visualización modelo final en Navisworks desde otra perspectiva. 142

Índice de Tablas

Tabla 1 - Datos topográficos, descripción y formato. 37
Tabla 2 - Datos de ubicación de los aerogeneradores. 38
Tabla 3 - Datos de áreas restringidas. 39
Tabla 4 - Hidrografía. 40
Tabla 5 - Informe geotécnico. 41
Tabla 6 - Criterios de diseño vial para carreteras de aerogeneradores. 56
Tabla 7 - Criterios de diseño vial para el ensamblaje 124
Tabla 8 - Criterios Metodológicos y Prácticos para Evaluar la Monografía. 146

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación diámetro de las circunferencias de la línea de ceros. 109
Ecuación 2. Ejemplo aplicación ecuación diámetro de las circunferencias de la línea de ceros. 110
Ecuación 3. K en función de Kv mínimo. 123

Referencias Bibliográficas

Arcilla, R., & Ricardo, J. (2019). Estudio del Potencial Eólico en Colombia: Viabilidad de un Parque Eólico. Repositorio Digital de la Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia. Recuperado de https://repositorio.upct.es/handle/10317/7799

ArcGIS. (n.d.). Georreferenciación y sistemas de coordenadas, ArcGIS Resources. Recuperado de https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000s000000.htm

ArcGIS. (n.d.). ¿Qué es KML?, ArcGIS Pro. Recuperado de https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/kml/what-is-kml-.htm

ArcGIS. (n.d.). ¿Qué son los datos LIDAR? ArcGIS Pro. Recuperado de https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/kml/what-is-kml-.htm

Albor Madariaga, Y. (2022). Análisis de Factibilidad de la Instalación de un Parque Eólico en la Isla de San Andrés, Colombia. Repositorio Digital de la Universidad de Barcelona, España. Recuperado de https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/194028/4/Albor%20Y.pdf

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (n.d.). Estudio de Impacto Ambiental. Recuperado de https://www.anla.gov.co/01_anla/tramites-y-servicios/servicios/estudio-de-impacto-ambiental

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2011). Objeto, Somos ANLA. Recuperado de https://www.anla.gov.co/nosotros/institucional/somos-anla

Apcarian A. y Lässig, J. L. (2012). Tendencias en el Diseño de las Torres para Aerogeneradores Multimegawatt. Repositorio Institucional de la UNLP. Recuperado de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/100072/Documento_completo.Apcarian.CLIV2.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Autodesk. (2020). ¿Qué es AutoCAD Civil 3D? Recuperado de https://www.autodesk.es/solutions/bim

Autodesk. (2020). ¿Qué es BIM? Autodesk Journal. Recuperado de https://www.autodeskjournal.com/que-es-autocad-civil-3d/

Autodesk. (2023). ¿Qué es Navisworks? Recuperado de https://www.autodesk.es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/What-is-Navisworks.html

Baquedano S. (2022). La Generación de Energías Limpias y la Cobertura de Energía Eléctrica en La Guajira. Cámara de Comercio de la Guajira. Recuperado de: https://camaraguajira.org/la-generacion-de-energias-limpias-y-la-cobertura-de-energia-electrica-en-la-guajira/

Barrero A. (2020). Estos son los quince mayores fabricantes de aerogeneradores del mundo. Energías Renovables. Recuperado de: https://www.energias-renovables.com/eolica/aqui-estan-los-diez-mayores-fabricantes-de-20200528

Bohórquez Guevara, K. S. (2019). La Oferta Hidráulica Equivale A Cerca de 69% de la Matriz Energética del País. Diario La República. Recuperado de http://www.larepublica.co/especiales/minas-y-energia-marzo-2019/la-oferta-hidraulica-equivale-a-cerca-de-69-de-la-matriz-energetica-del-pais-2842181

Building SMART Spain ¿Qué es BIM? (2024). Recuperado de https://www.buildingsmart.es/bim/

Cámara Colombiana de la Construcción – CAMACOL. (2019). Guías para la Adopción BIM en las Organizaciones. BIM Forum Colombia. Recuperado de https://camacol.co/sites/default/files/descargables/4%20-%20Gestion_de_la_Informacio%CC%81n.pdf

Cataldo, J. & Nunes, V. (2006). Aplicación de la Modelación Física en la Evaluación del Potencial Eólico para la Instalación de Parques Eólicos en Zonas de Topografía Compleja. Universidad de la República, Uruguay. Recuperado de https://hdl.handle.net/20.500.12008/38643

Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas. (2022). Ingeniería Civil para dummies. ¿Qué es la geotecnia?, Sala de Prensa. Recuperado de https://ingenieros-civiles.es/actualidad/actualidad/1/1209/ingenieria-civil-para-

Dictionary Law Insider (n.d.). Wind Turbine Pad definition. Recuperado de https://www.lawinsider.com/dictionary/wind-turbine-pad

Enel. (n.d.). Aerogenerador. Enel Green Power. Recuperado de https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/aerogenerador

Enel. (n.d.). Parque Eólico. Enel Green Power. Recuperado de https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/parque-eolico

Energía Estratégica. (2021). Por la Gran Demanda La Guajira Contará con un Nuevo Puerto para Almacenar Renovables. Recuperado de https://www.energiaestrategica.com/la-guajira-contara-con-un-nuevo-puerto-para-equipos-renovables-frente-a-un-2022-con-costos-logisticos-al-alza/

Escuela Postgrado de Ingeniería y Arquitectura. (2022). Topografía: qué es y para qué sirve, Escuela Postgrado de Ingeniería y Arquitectura, España. Recuperado de: https://postgradoingenieria.com/topografia/

Estratégica, E. (2021). Por la Gran Demanda la Guajira contará con un Nuevo Puerto para Almacenar Renovables. Energía Estratégica. Recuperado de https://www.energiaestrategica.com/la-guajira-contara-con-un-nuevo-puerto-para-equipos-renovables-frente-a-un-2022-con-costos-logisticos-al-alza/

Felicísimo, A. M. (n.d.). El Modelo Digital de Elevaciones (Capítulo 2), Universidad de Oviedo, España. Recuperado de https://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_2.pdf

Fitzgerald, M. F. (2023, May 26). Los Wayúu se Enfrentan a los Parques Eólicos de la Guajira. Revista Cambio. Recuperado de https://cambiocolombia.com/poder/los-wayuu-se-enfrentan-los-parques-eolicos-de-la-guajira

Galán G., Montes D., Fernández A., Urbina E., Alonso R., Nogueira L. (2019). La Adaptación del Estudio Geotécnico para Proyectos Eólicos y Fotovoltaicos: Condicionantes Geotécnicos y Propuestas de Optimización, GHM Consultores. Recuperado de https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/233870-adaptacion-estudio-geotecnico-proyectos-eolicos-fotovoltaicos-condicionantes-geotecnicos.html

García Orrego, S. (2021). Análisis Espacial Multicriterio para la Ubicación de Parques Eólicos y Granjas Solares en Colombia. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79490

Gaudó Ester, Y. (2023). Ejecución de un Parque Eólico Terrestre en España. Repositorio Comillas de la Universidad Pontificia ICAI, España. Recuperado de https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/72404

González, G. A. V. (2019). Estudio para la Implementación de un Parque Eólico en la Costa Norte Colombiana. Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia. Recuperado de

https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7114/2019_Tesis_Geovanni_Andres_Vera_Gonz%c3%a1lez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

González-Longatt, F. M. (2008). la Normativa IEC 64100-1: Modelado del viento en condiciones normales, Parte I. Iniciativa para la Investigación y el Desarrollo de la Energía Eólica. Recuperado de https://fglongatt.org/OLD/Reportes/PRT2008-01.pdf

Guerrero Hoyos, B. G., Vélez Macías F. J., & Morales Quintero D. E., (2019). Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia). Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Recuperado de https://www.redalyc.org/journal/3478/347874623005/html/#ref20

Infraestructura de Datos Espaciales de Bogotá (IDECA). (n.d.). Dato Geoespacial. Recuperado de https://www.ideca.gov.co/recursos/glosario/dato-geoespacial

Infraestructura de Datos Espaciales de Bogotá (IDECA). (n.d.). Modelo Digital de Terreno. Recuperado de https://www.ideca.gov.co/recursos/glosario/modelo-digital-de-terreno

Ingernieríacivil.com. (n.d.). Modelamiento estructural, ¿Qué es un modelo estructural? Recuperado de https://ingenieriacivilcivil.com/estructura/modelamiento-estructural/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (n.d.). Aguas Superficiales. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/web/agua/aguas-superficiales

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (n.d.). Misión. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (n.d.). Quiénes somos. Recuperado de https://www.igac.gov.co/quienes-somos

Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá – INEC (n.d.). Generalidades I. Meteorología. Recuperado de https://www.inec.gob.pa/archivos/P3771generalidades.pdf

Instituto Nacional de Vías - INVIAS. (2008). Carreteras Primarias, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Recuperado de http://artemisa.unicauca.edu.co/~carboled/Libros/Manual%20de%20Diseno%20Geometrico%20de%20Carreteras.pdf

Instituto Nacional de Vías - INVIAS. (2008). Glosario de Términos, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Recuperado de http://artemisa.unicauca.edu.co/~carboled/Libros/Manual%20de%20Diseno%20Geometrico%20de%20Carreteras.pdf

Introducción, 2. 1. (n.d.). Caracterización del viento. Recuperado de https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5116/fichero/Cap%C3%ADtulo+2.pdf

López López, A. (2023). Parque Eólico en Carril (Carballeda de Valdeorras, Ourense). Universidad de la Coruña, España. Recuperado de http://hdl.handle.net/2183/32806

Mora Méndez, J. M. (2019). Análisis del Mercado de Energía Renovable Colombiano mediante la Evaluación Financiera de un Parque Eólico de 100 MV. Universidad de los Andes, Colombia. Recuperado de http://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/48813/u833091.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en Proyectos de Uso de Energía Eólica Continental. Recuperado de https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/terminos_referencia/tr_energia_eolica_continental.pdf

Ministerio de Minas y Energía, (2014). Fuentes No Convencionales de Energía Renovable – FNCER. Recuperado de https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fncer/#:~:text=La%20Ley%201715%20de%202014,y%20no%20se%20comercializan%20ampliamente.

Ministerio de Vivienda. (2023). Estrategia Nacional BIM 2020 – 2026. Recuperado de https://bim.minvivienda.gov.co/

Molina J. & Tudela M. (2008). Elección de Criterios y Valoración de Impactos Ambientales para la Implantación de Energía Eólica. Universidad de Murcia, España. Recuperado de https://revistas.um.es/geografia/article/view/41331/39761

Nordex. (2022). Nordex Group en Colombia. Recuperado de https://www.nordex-online.com/es/colombia/

Peláez, J. B. (2023). EPM iba a desmontar su fallido Parque Eólico Jepírachi, pero ahora dice que se lo Regalará a los Wayúu. EL COLOMBIANO. Recuperado de https://www.elcolombiano.com/medellin/epm-regala-a-los-wayuu-parque-eolico-jepirachi-en-guajira-HP21950601

Renewable Energy Magazine. (2020). Estos son los Quince Mayores Fabricantes de Aerogeneradores del Mundo. Recuperado de https://www.energias-renovables.com/eolica/aqui-estan-los-diez-mayores-fabricantes-de-20200528

Quiroga Rubio, L. M. (2023). Vestas Sube su Apuesta en Colombia y Explora Oportunidades en Hidrógeno Verde. El Tiempo. Recuperado de https://www.eltiempo.com/economia/empresas/vestas-sube-su-apuesta-en-colombia-y-busca-oportunidades-en-hidrogeno-verde-733800

Quispe Paitan, E. E. (2020). Orografía, Geología Aplicada. Universidad Nacional del Centro Facultad de Ingeniería del Perú Civil, Perú. Recuperado de https://pdfcoffee.com/informe-de-investigacion-orografia-5-pdf-free.html

Sociedad Geológica de España. (2020). ¿Qué es la Geología? Recuperado de https://sge.usal.es/que.html

Solorio R. (2023). La Gestión de Activos como Prerrequisito para la Aplicación de BIM en Gestión de Carreteras. Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado de https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=574&IdBoletin=202

Soto Gutiérrez, J. J. (2016). Desarrollo de la Energía Eólica en Colombia. Universidad de América, Colombia. Recuperado de http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/624/1/5082005-2016-2-GA.pdf

Valle, D. (2022). Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas. Especialización en Ingeniería Estructural, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. Recuperado de https://rephip.unr.edu.ar/items/a8d279fb-e049-41b9-8c27-0e56b81a12ce

Anexo

A continuación, se presenta la Guía de Procedimiento de Diseño de Plataformas de Aerogeneradores para Parques Eólicos y sus Carreteras. Avance en el presente documento para apreciarla o, si desea visualizarla en presentación modo revista, acceda al siguiente enlace: https://www.calameo.com/read/0076683602fb038cd4f7e