

FACULTAD DE COMERCIO

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
EN COMERCIO EXTERIOR**

**“LA LOGÍSTICA INTERNACIONAL DE EQUIPOS
PESADOS Y SOBREDIMENSIONADOS EN
PROYECTOS EPC”**

ISABEL FERNÁNDEZ TORRES

**FACULTAD DE COMERCIO
VALLADOLID, JULIO, 2024**



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID MÁSTER EN COMERCIO EXTERIOR

CURSO ACADÉMICO 2023/2024

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**“LA LOGÍSTICA INTERNACIONAL DE EQUIPOS
PESADOS Y SOBREDIMENSIONADOS EN
PROYECTOS EPC”**

Trabajo presentado por: ISABEL FERNÁNDEZ TORRES
Firma:

Tutor: RICARDO GUEDEL FERNÁNDEZ
Firma:

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. EQUIPOS PESADOS Y SOBREDIMENSIONADOS	13
2.2. ANÁLISIS DE LA LOCALIZACIÓN	15
2.2.1. <i>Evaluación de las infraestructuras</i>	15
2.2.2. <i>Condiciones climáticas</i>	19
2.3. METODOLOGÍA DE TRANSPORTE	20
2.3.1. <i>Transporte offshore</i>	21
2.3.1.1. <i>Construcción de un muelle o jetty</i>	22
2.3.1.2. <i>Aterrizaje en la playa o beach landing</i>	22
2.3.1.3. <i>Puertos fluviales o interiores</i>	23
2.3.2. <i>Transporte onshore</i>	25
3. CASO DE ESTUDIO	27
3.1. ANÁLISIS DE LA LOCALIZACIÓN	29
3.2. PROCEDIMIENTO PARA EL TRANSPORTE DE HL Y ODC	32
3.3. ACCESO A LA LOCALIZACIÓN	35
3.3.1. <i>Transporte marítimo</i>	35
3.3.2. <i>Transporte aéreo</i>	45
3.3.3. <i>Transporte por carretera</i>	46
3.4. ADUANAS.....	52
3.4.1. <i>Acuerdos comerciales</i>	52
3.4.2. <i>Impuestos y aduanas</i>	53
4. CONCLUSIONES	53
5. BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXO I. RED DE FERROCARRIL DE KENIA.....	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Montaje de equipo crítico	19
Figura 2. Mapa localización del proyecto	28
Figura 3. Puerto de Svelgen	37
Figura 4. Puerto de Floro	38
Figura 5. Buque heavy lift Jumbo.....	40
Figura 6. Barcaza empujada	41
Figura 7. Buque Dong Bang Giant 1	42
Figura 8. Buque Roll Biscay.....	43
Figura 9. Barcaza 400 pies	44
Figura 10. Ruta desde el aeropuerto hasta el <i>site</i>	46
Figura 11. Posiciones que pueden adquirir	48
Figura 12. Ruta desde el Svelgen	49
Figura 13. Márgenes de la carretera hasta el <i>site</i>	50
Figura 14. Túnel de Eikeland	50
Figura 15. Ruta desde el puerto de Floro hasta el <i>site</i>	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ámbitos de análisis en relación a infraestructuras.....	16
Tabla 2. Puntos críticos de la ruta.....	29
Tabla 3. Acciones para la mejora de accesos ya disponibles.....	32

GLOSARIO

Abreviatura	Español	Inglés
EPC	Ingeniería, Aprovisionamiento y Construcción	Engineering, Procurement, and Construction
FLO-FLO	Levantamiento Dentro - Levantamiento Fuera	Lift On- Lift Off
HL	Equipos pesados	Heavy Lift
ICD	Depósito Interior de Contenedores	Inland Container Depots
LO-LO	Flotación Dentro - Flotación Fuera	Float On- Float Off
MOF	Instalación de Descarga Marina	Marine Off-loading Facility
OTG	Contenedor Abierto Dentro de Medidas	Open Top In Gauge
RO-RO	Rodar Dentro-Rodar Fuera	Roll On- Roll Off
SGR	Ferrocarril de Ancho Estándar	Standars Gauge Railway
ULCV	Buque Portacontenedores de Ultra Gran Tamaño	Ultra Large Container Vessel

1. INTRODUCCIÓN

La construcción modular podría expandirse hasta convertirse en una industria que representa más de \$100.000 millones en bienes raíces en Estados Unidos y Europa, ofreciendo un ahorro anual de \$20.000 millones. La construcción modular, cuando se optimiza y se entrega de manera competente, puede demostrar una serie de beneficios sobre la construcción tradicional. (McKinsey & Company, 2019, p.10).

En los últimos años, la construcción modular ha emergido como una tendencia significativa en la industria de la construcción y la ingeniería, transformando la manera en que se diseñan, fabrican y ensamblan los proyectos. Este enfoque, caracterizado por la fabricación de componentes en un entorno controlado fuera de la ubicación de la obra, seguido de su ensamblaje en el lugar de destino, ofrece numerosas ventajas que están reconfigurando el panorama de la construcción global, ya que evita a las compañías enfrentarse a múltiples desafíos como la ineficiencia en los plazos de ejecución, el aumento de costes, la escasez de mano de obra calificada y los problemas de calidad y seguridad. Además, este método de construcción supone un impacto medioambiental menor y un mejor aprovechamiento de los productos.

Siguiendo esta tendencia, cada vez se transportan más equipos ya ensamblados, lo que en muchas ocasiones hace que se conviertan en sobredimensionados. Esto, en el ámbito de la gestión de proyectos industriales y de infraestructura, se traduce en un desafío logístico ya que las vías de comunicación corrientes no están preparadas para este tipo de transportes, cobrando relevancia especialmente en el contexto de proyectos *EPC*¹, que se clasifican como *turnkey projects*². A su vez, frecuentemente es necesario transportar junto a estos módulos carga general para ejecutar la construcción, pero esta suele transportarse en contenedores o camiones estándar sin suponer mayores problemas.

En los proyectos que implican la entrega completa de una instalación se requiere una coordinación precisa por parte de los departamentos de construcción y logística con los transitarios y las navieras para asegurar que todos los componentes, incluyendo aquellos de gran tamaño y peso, lleguen al destino de manera segura y óptima, suponiendo estos desplazamientos un alto coste para las organizaciones. No solo se necesita una planificación detallada del transporte y manejo de estos equipos, sino también una

¹ Engineering, Procurement, and Construction que quiere decir Ingeniería, Aprovisionamiento y Construcción. La empresa (el contratista EPC) es responsable de todos los aspectos del proyecto desde su diseño inicial hasta la entrega final

² Proyectos llave en mano. Es un tipo de contrato de construcción en el que el contratista se encarga de todas las fases del proyecto desde su diseño inicial hasta su finalización y entrega. Al finalizar el proyecto, el cliente recibe un producto completamente terminado y listo para su uso, sin necesidad de realizar trabajos adicionales. Los contratos EPC pertenecen a esta categoría.

consideración profunda de las limitaciones físicas y reglamentarias, como el conocimiento de la capacidad de carga de las infraestructuras de transporte, las restricciones de tráfico y las normativas de seguridad del entorno. Además, los equipos sobredimensionados suelen requerir permisos especiales y escoltas durante su transporte, lo que añade un grado de coordinación relevante con las autoridades locales y nacionales.

La construcción modular puede reducir el plazo de ejecución entre un 20 y un 50% y los costes de construcción en un 20%. La construcción modular requiere un cambio significativo en la mentalidad y los métodos, además de la necesidad de establecer entornos de fabricación, pero puede proporcionar considerablemente mayor eficiencia durante el proceso. La construcción modular está acelerando proyectos. Si bien los primeros proyectos modulares tienen un historial mixto en cuanto a ahorro de costos, han sido consistentemente completados entre un 20 y un 50% más rápido que las construcciones tradicionales en el lugar. (McKinsey & Company, 2019, p.10).

Aunque la construcción modular es un campo de vital importancia, existe escasez en cuanto a la información disponible sobre la logística de este campo. Es por ello que este trabajo tratará de abordar los aspectos críticos que se plantean como: la planificación logística, la selección de rutas y modos de transporte, la coordinación con autoridades locales y la implementación de tecnologías avanzadas para la supervisión y control del transporte, examinando casos reales para identificar los desafíos comunes y soluciones innovadoras aplicadas en proyectos de gran envergadura. A su vez, a selección de rutas no solo implica elegir vías con capacidad para soportar el peso y tamaño de los equipos, también implica evitar rutas con obstáculos físicos como pueden ser puentes con limitaciones de altura, túneles estrechos o carreteras en mal estado. La elección de la ruta óptima puede requerir estudios y simulaciones previas, así como la posibilidad de adaptar infraestructuras existentes o incluso construir nuevas para facilitar el paso de estos equipos.

La planificación del transporte de estos equipos incluye estudios de ruta, permisos, y la coordinación con diversas autoridades para garantizar la seguridad y eficiencia del proceso. La selección del método adecuado de transporte, así como el manejo de los riesgos asociados, son cruciales para el éxito del proyecto (Petraška, 2018).

Por otro lado, hay que especificar que este Trabajo Fin de Máster está enfocado en el marco de trabajo de proyectos llave en mano, más concretamente en el ámbito del *EPC*, en el caso de construcción de plantas de procesamiento industrial como son refinerías, plantas petroquímicas y de gas e infraestructuras de energía, por lo que los equipos a los que se hace referencia se corresponden con estos modelos. Estos proyectos se construyen

normalmente en zonas poco o nada urbanizadas, lo que añade una dificultad extra debido a la escasez de infraestructuras que conectan las localizaciones.

El estudio se centrará en cómo optimizar la eficiencia y minimizar los riesgos asociados con el transporte y la instalación de estos equipos. A través del análisis de estrategias exitosas y la evaluación de tecnologías emergentes, se buscará proporcionar un marco de referencia robusto para la gestión logística de equipos pesados y sobredimensionados. Al final, se espera ofrecer una comprensión integral de las mejores prácticas y estrategias para gestionar la logística de estos equipos en proyectos industriales y de infraestructura, asegurando el éxito en la entrega y montaje de estos componentes críticos. Todo ello lleva a plantear las siguientes cuestiones que tratarán de resolverse:

P.I.1. Identificación de problemas específicos para este tipo de transportes. ¿Cómo impactan las restricciones de infraestructura (puentes, túneles, carreteras) en el transporte de cargas sobredimensionadas? ¿Qué se requiere para asegurar el cumplimiento normativo de cada área geográfica concreta?

P.I.2. Desarrollo de soluciones óptimas. ¿Cuáles son las mejores prácticas para minimizar riesgos y costos en el transporte de equipos sobredimensionados?

Por tanto, se puede concluir que el **objetivo principal** de este Trabajo de Fin de Máster es elaborar un marco conceptual y empírico para poder entender los problemas que se plantean cuando surge la necesidad de transportar un equipo pesado o sobredimensionado, identificando y analizando los retos de la situación específica y desarrollando soluciones óptimas para abordarlos.

Desarrollando el alcance de estos puntos se pretende contribuir al campo de la gestión de proyectos industriales y de infraestructura mediante el análisis exhaustivo de la logística de equipos pesados y sobredimensionados. Al abordar los desafíos y proponer soluciones, se espera que los resultados de este estudio proporcionen una guía, mejorando la eficiencia y seguridad en futuros proyectos.

En cuanto a la metodología empleada para esta investigación se basa en el estudio del método del caso. Este enfoque permitirá explorar detalladamente casos específicos, analizando variables clave como la planificación de rutas, las restricciones de infraestructura y las soluciones implementadas.

Con el fin de dar respuesta al objetivo se ha empleado una combinación de diferentes fuentes. En primer lugar, se han analizado casos reales llevados a cabo por

diferentes empresas especializadas en el ámbito de los transportes *Heavy Lift (HL)*³ y de *Overdimensional Cargo (ODC)*⁴ y se toman como referencia para el análisis de futuras situaciones que puedan ser similares. Otra de las fuentes que se ha tomado es la experiencia personal en el campo de la logística, trabajando en este departamento de una empresa multinacional y relevante a nivel mundial en el campo del *EPC*, por motivos de confidencialidad no se especifica el nombre. Además, se han tomado como referencia páginas web especializados en el comercio internacional de mercancías y las propias páginas de las compañías de los transitarios.

Este estudio se estructura principalmente en dos bloques. En primer lugar, se abordará un marco teórico detallado que expone situaciones reales relacionadas con transportes que presentan desafíos significativos. Este marco teórico se centrará en identificar las limitaciones comunes que enfrentan las operaciones de transporte de equipos pesados o sobredimensionados, como restricciones de infraestructura y regulaciones gubernamentales, estableciendo unas pautas. Además, se explorarán diferentes estrategias y soluciones que han sido implementadas en la práctica para superar estos desafíos, destacando estudios de caso y ejemplos prácticos de la industria.

Por otro lado, en el segundo bloque se desarrollará un caso de estudio específico que servirá para analizar en profundidad los retos específicos y plantear preguntas clave relacionadas con el transporte de cargas sobredimensionadas. Este caso de estudio permitirá aplicar el marco teórico previamente establecido a una situación concreta, examinando cómo se enfrentan y resuelven los desafíos en la práctica.

Al integrar estos dos bloques, el estudio busca no solo profundizar en la comprensión teórica de los problemas asociados con el transporte de equipos pesados, sino también ofrecer una aplicación práctica de este conocimiento a través de un caso de estudio específico. Esto permitirá identificar cuestiones significativas y desarrollar recomendaciones concretas que puedan contribuir a mejorar la eficiencia y mitigar riesgos en futuras operaciones de transporte de cargas sobredimensionadas.

³ Equipos pesados.

⁴ Carga sobredimensionada.

2. Marco teórico

En este bloque se establece una base sólida para abordar la primera cuestión que se presenta en este trabajo. Se identificarán las pautas que suelen suponer una problemática en el proceso de transporte, pero también se abordará la cuestión segunda, desarrollar una solución óptima a través de la exposición de casuísticas ya resultas.

Mediante la evaluación de infraestructuras existentes, condiciones climáticas y aduanas, se puede obtener una comprensión completa de los desafíos y oportunidades en el ámbito del transporte. Esta evaluación permite identificar posibles puntos débiles en la infraestructura que requieren mantenimiento o mejoras para garantizar la seguridad y eficiencia del transporte, mientras las condiciones climáticas juegan un papel crucial, ya que pueden afectar la operación y mantenimiento de las infraestructuras. Además, la evaluación de las aduanas es esencial para entender los procesos y procedimientos que afectan el movimiento de bienes a través de las fronteras.

Las infraestructuras bien mantenidas y diseñadas son cruciales para la seguridad del transporte. Las deficiencias en la infraestructura pueden causar accidentes y aumentar los riesgos para los usuarios. La protección de infraestructuras críticas, como puentes y túneles, es fundamental para evitar interrupciones en el transporte que puedan tener graves repercusiones económicas y de seguridad (Vidriková, 2014).

Integrar la evaluación de infraestructuras existentes, condiciones climáticas y aduanas proporciona una base que facilita el desarrollo de medidas que mejoren la eficiencia y fiabilidad del transporte en diversas condiciones y contextos.

Por otro lado, en este bloque teórico también se presentan los modos de acceso a la localización para cargas pesadas y voluminosas, incluyendo opciones marítimas, aéreas y terrestres.

2.1. Equipos pesados y sobredimensionados

Como se ha mencionado previamente en la introducción, este trabajo tratará sobre el transporte de equipos pesados y sobredimensionados (*HL - Heavy Lift ODC - Over Dimensional Cargo*) y, con el propósito de establecer este marco teórico, se definirán las características para que se considere que una carga pertenece a esta modalidad.

Los equipos cuya longitud, ancho o altura exceden las dimensiones estándar de transporte son considerados sobredimensionados. Estos equipos suelen requerir vehículos especiales y permisos para su transporte por carretera debido a sus grandes dimensiones y peso excepcional (Lin & Haas, 1996).

Una carga se considera sobredimensionada (*ODC*) cuando excede las dimensiones estándar o regulaciones de transporte establecidas. Estas dimensiones pueden variar según el modo de transporte y las regulaciones locales o internacionales. En términos generales, una carga se considera sobredimensionada cuando:

1. Supera la longitud, anchura o altura máxima permitida para el transporte en carretera, ferrocarril, marítimo o aéreo. Por regla general, suele considerarse aquel cuyas dimensiones exceden los 14 metros de largo, 4 metros de ancho o 3.5 metros de alto, es decir, no se pueden transportar en contenedores.
2. Requiere escolta o permisos especiales debido a su tamaño.
3. No puede ser transportada utilizando los medios de transporte estándar debido a sus dimensiones excepcionales.

Por ejemplo, una carga que excede los límites de ancho de un carril de carretera estándar o una carga que es demasiado alta para pasar por debajo de puentes o líneas eléctricas sin interferir se consideraría sobredimensionada. Las dimensiones exactas que constituyen una carga sobredimensionada pueden variar según la ubicación y las regulaciones específicas del país o región.

Respecto a los equipos pesados los criterios que se emplean para considerarlos son:

1. Supera las 25 toneladas. Un equipo puede considerarse pesado a partir de esta cifra ya que su movimiento en contenedores convencionales puede complicarse.
2. Supera las 75 toneladas. Se consolida como carga crítica porque es menos frecuente encontrar equipos y grúas que tengan capacidad para moverlos.

Estos equipos pueden pesar cientos o incluso miles de toneladas y tienen dimensiones que exceden las capacidades estándar de transporte y manipulación. Por ejemplo, componentes de aerogeneradores y grandes calderas industriales son típicos ejemplos de equipos sobredimensionados (Taghaddos , 2010).

Es una vez clasificados que esta carga pasa a formar parte de los elementos críticos del proyecto porque son equipos que requieren documentación de envío y/o aduanas complejas (*HL/ODC*), representan un alto riesgo para la seguridad o daños durante la ejecución (mercancías peligrosas), ponen en peligro el cronograma de construcción en caso de retraso y representan un alto valor monetario.

En lugar de confiar en procedimientos logísticos genéricos, para los equipos que cumplan cualquiera de las calificaciones anteriores se deberán desarrollar planes de envío específicos para cada uno de estos, de modo que se manejen con especial atención para

elegir la modalidad, la ruta, las declaraciones de método, la programación y la documentación. Además, todo el equipo y material deberá ser transportado y almacenado de acuerdo con la información del proveedor.

2.2. Análisis de la localización

Con el propósito de delimitar la P.I.1 a la que se quiere dar respuesta en este análisis “Identificación de problemas específicos para este tipo de transportes” en este apartado se expone una evaluación de las infraestructuras existentes, cómo pueden afectar las condiciones climáticas y restricciones locales.

En cualquier contexto logístico que involucre un transporte, lo primero que debe plantearse y analizarse es la ubicación del proyecto. Esta será la dirección final a la que deben hacerse llegar todos los materiales para hacer posible la posterior construcción. Por tanto, se puede afirmar que en el ámbito de la logística la ubicación en la que se va a llevar a cabo la operativa es crítica para determinar el éxito y la eficiencia de las ejecuciones.

2.2.1. Evaluación de las infraestructuras

La sobrecarga de vehículos pesados afecta significativamente el rendimiento del pavimento y la seguridad de los puentes. Los estudios han encontrado que los factores de carga de camiones superan los valores de diseño originales, subestimando así las necesidades de diseño de puentes (Chou, 1996).

Las infraestructuras son un factor clave en la planificación y ejecución de cualquier proyecto. Esto incluye carreteras, redes de transporte, instalaciones de comunicación, energía y agua. Una buena infraestructura permite un acceso fácil y rápido a los lugares de construcción, facilita el transporte de materiales y equipos, y asegura que los servicios necesarios estén disponibles. En cuanto a la falta de infraestructura adecuada, puede retrasar los proyectos, aumentar los costes y reducir la eficiencia operativa, llegando incluso a imposibilitar el traslado de los equipos.

La infraestructura de transporte para el acceso dependerá de la ubicación establecida, puede darse el caso en el que se combinen varios métodos de transporte y, por tanto, diferentes vías. Carreteras, puertos, aeropuertos y vías férreas se examinan en detalle en cuanto a su capacidad de carga, calidad, estado de mantenimiento y capacidad para soportar el flujo de tráfico esperado. En la Tabla 1 se pueden observar los criterios concretos a través de los cuáles se determina la validez o no de las vías disponibles para su utilización, y, tras esto se delimita si es necesario tomar alguna otra medida o alternativa como resultado del análisis.

Tabla 1. Ámbitos de análisis en relación a infraestructuras.

Inspección física	En primera instancia se evalúa cualquier necesidad de reparación examinando si existe algún daño a simple vista que fuera necesario solucionar. Un ejemplo es la existencia de baches que dificulten el tránsito en una carretera.
Análisis de la capacidad	En relación con la cantidad de mercancía que se espera mover a través de esta vía, se constata si la capacidad de la que se dispone es suficiente o no. Por ejemplo, la zona de almacenaje que un puerto tiene disponible
Mantenimiento	Si es correcto y continuo, que se garantice el buen estado de la vía. Es el caso de las carreteras, deben estar despejadas debiendo vigilarse en zonas en las que se dan desprendimientos en las laderas cercanas, por ejemplo.
Nivel de tecnología	El nivel empleado en aeropuertos o puertos, tanto para descarga de bienes como para seguimiento o trámites aduaneros.
Seguridad	En las vías (ferroviarias, carreteras) y en los emplazamientos (puertos, aeropuertos) debe asegurarse el grado de seguridad. En algunos países la seguridad privada es de especial relevancia, ya que los materiales pueden ser sustraídos mediante robos o atracos.
Coste alternativas	Se buscará la opción más que suponga los menores costes, pero a su vez se debe asegurarse su fiabilidad.
Regulaciones	Se deben investigar las que rigen cada región específica de interés.

Nota. Elaboración propia.

En lo que se refiere a la consideración de las restricciones de carga relacionadas con límites de peso, restricciones de dimensiones o requisitos especiales de escolta o permisos. Primordialmente se deben consultar las legislaciones respecto al transporte de este tipo de mercancía que hay en el país en particular o en la región y adecuarse a las leyes. Posteriormente, se deben combinar estas directrices junto con el examen de los puntos críticos previamente citados en la Tabla 1 y tratar de encontrar un resultado que facilite los objetivos establecidos.

A pesar de que se pone el foco en la carga especial, estas restricciones pueden afectar a los camiones estándar también y a sus plazos de entrega debido a que las

normativas estatales pueden restringir el tráfico en fines de semana o días festivos. Hay que tener en cuenta estos márgenes en las fechas para evitar demoras inesperadas. A su vez, hay zonas determinadas, que suelen ser próximas a las ciudades, por las que no se permite la circulación de vehículos que no sean exclusivamente automóviles o motocicletas.

El transporte de estos equipos requiere vehículos especializados, como camiones de plataforma extendida y grúas de gran capacidad. También puede ser necesario obtener permisos especiales para moverlos por carretera debido a su tamaño y peso excepcionales (Copnall, 1971).

En consecuencia, cuando va a comenzar un proyecto se debe consultar con autoridades locales sobre las regulaciones específicas de la zona. Esto puede incluir solicitar permisos, obtener aprobaciones regulatorias, cumplir con los requisitos legales y normativos, y coordinar con las autoridades locales para garantizar el cumplimiento de las leyes y normas aplicables.

En cuanto a áreas geográficas que entrañan problemas, en las zonas del planeta en vías de desarrollo donde se llevan a cabo algunos proyectos, la seguridad tanto de los trabajadores como de los materiales que se transportan es una cuestión que requiere consideración adicional ya que surgen desafíos como el riesgo de robos y otros delitos. Con el fin de evitar situaciones indeseadas, se recopila información previamente acerca de incidentes que se hayan producido en la región, la criminalidad local o la presencia de bandas. De este modo, se pueden comprender mejor los riesgos y definir las áreas de riesgo por las que se debe evitar el tránsito, con el fin de implementar medidas de seguridad como controles de acceso, escolta en los convoyes de mercancía o cámaras de vigilancia. Para todas estas medidas será necesario contactar con las fuerzas de seguridad locales, generando así una sinergia positiva para el entorno.

En las situaciones en las que se identifican obstáculos en la ruta o no se tiene clara la viabilidad, se encarga la realización de un estudio de ruta o route survey que proporcionará detalles mucho más minuciosos. De acuerdo con el equipo de Viatres Ingenieros se puede describir el del siguiente modo:

Estudios previos necesarios para la elección de la ruta más idónea que permita el traslado de cargas con grandes dimensiones y pesos entre origen y destino. El trabajo comienza con el estudio de diferentes rutas teniendo en cuenta la Normativa de Transporte Especial de aplicación y sus condicionantes, así como las limitaciones físicas de las diferentes rutas, realizando una comparativa de actuaciones y su valoración además de detectar los posibles problemas que puedan aparecer a lo largo de las diferentes rutas.

De esta parte del proceso se encarga ingeniería, ya sea civil o de transportes. Examinan la separación entre el punto de origen y destino, la calidad de las vías a transitar, la situación de puentes, gálibos, túneles, cruces a través de poblaciones, curvas en las carreteras, posibles obras en las calzadas, las medidas que sería necesario tomar para garantizar la accesibilidad y la Normativa de Transporte Especial. Posterior a estas tareas se genera un informe final como conclusión que plasma todos estos detalles con mediciones, indicaciones en los mapas, fotografías de puntos críticos, propuestas detalladas de recorridos y rutas alternativas. Se obtiene a través de visualización de manera directa del trayecto por parte del personal que elabora este documento, se desplazarán hasta allí para poder confirmar las deducciones.

Hay empresas que están especializadas en este tipo de tarea. Estas emplean equipos y tecnologías avanzadas como sistemas de posicionamiento global (GPS), drones, y escáneres láser terrestres para llevar a cabo estudios precisos y detallados que respalden el diseño, la planificación y la construcción exitosa de proyectos de infraestructura de un modo que permita abordar las necesidades específicas de cada cliente. Concretamente la compañía Surveying and Mapping, LLC (SAM) destaca por su enfoque innovador en el uso de tecnologías de escaneo láser y sistemas de posicionamiento avanzados para capturar datos detallados del terreno. En contraste, Atwell, LLC se distingue por su enfoque multidisciplinario y su capacidad para integrar estudios de ruta con otros servicios de consultoría, como evaluaciones ambientales y análisis de viabilidad económica.

Por otro lado, Mammoet es conocida por su enfoque en la seguridad, la calidad y la innovación, así como por su capacidad para enfrentar desafíos logísticos y técnicos únicos en proyectos a gran escala en todo el mundo. La empresa cuenta con una amplia flota de equipos especializados, incluyendo grúas móviles de gran capacidad, grúas torre, plataformas elevadoras, remolques modulares autopropulsados, y sistemas de transporte autónomos.

Uno de los ejemplos que se puede exponer es el que se muestra en la Figura 1, se trata de una operativa precisamente llevada a cabo por esta compañía. Para la construcción de una planta petroquímica en Arabia Saudí se realizó una ejecución excepcional para poder movilizar uno de los equipos pesados y sobredimensionados más grandes. Se trata del montaje del divisor de productos de 129 m de alto, 10 m de ancho y 1.600 toneladas, para lo cual se utilizó un sistema de elevación tipo pórtico de torre y una grúa sobre orugas. A diferencia de la mayoría de los sistemas de elevación de pórtico, el de Mammoet es completamente independiente y no requiere cables tensores, incluso a una altura de 130 metros. Para llegar a este punto se estudió la ruta entre el muelle y la

ubicación de la planta a través de un *route survey* y se adecuó para hacerla viable, consistiendo esta en 26 km.

Figura 1. Montaje de equipo crítico



Nota. Adaptado de "World's Largest PDH Plant Construction Project Streamlined," por Mammoet, s.f., Mammoet (<https://www.mammoet.com/cases/worlds-largest-pdh-plant-construction-project-streamlined/>).

2.2.2. Condiciones climáticas

En ocasiones se dan situaciones en las que las condiciones climáticas de la región del proyecto tienen una influencia de manera directa en la operativa logística de este. Bien porque existen regulaciones de trabajo al respecto, o bien porque se imposibilita el transporte por la meteorología del momento.

Por ejemplo, entre los países de la península arábiga, que se considera que tienen un clima desértico prácticamente, no hay lluvia durante todo el año. Esta ubicación está clasificada como BWh según Köppen y Geiger, con veranos extremadamente calurosos y secos e inviernos suaves y cortos. Esto supone un grave riesgo para algunos trabajadores, especialmente aquellos que realizan actividades al aire libre o en entornos sin aire acondicionado adecuado. La exposición prolongada a altas temperaturas puede aumentar el riesgo de golpes de calor y otros problemas de salud relacionados con el calor.

En cuanto a bajas temperaturas, La "North Atlantic Winter Seasonal Zone" es una zona del Atlántico Norte que se caracteriza por ciertas condiciones climáticas durante la

temporada de invierno. Esta zona abarca una región específica del océano Atlántico, generalmente ubicada en latitudes medias a altas, donde se producen fenómenos meteorológicos típicos del invierno, como tormentas invernales, bajas presiones, fuertes vientos y condiciones marítimas adversas. Estas condiciones afectan de manera directa a las condiciones del océano y por tanto a la navegación marítima, aunque también a la aviación.

Concluyendo, las condiciones climatológicas adversas, como fuertes vientos, precipitaciones intensas y temperaturas extremas, pueden complicar significativamente el transporte de cargas pesadas y sobredimensionadas. Los vientos fuertes pueden desestabilizar cargas voluminosas, las precipitaciones pueden afectar la tracción y la estabilidad de los vehículos, y las temperaturas extremas pueden impactar el rendimiento de los equipos y la integridad de las cargas. Por tanto, es crucial monitorear continuamente el clima y ajustar las operaciones para mitigar los riesgos y asegurar la eficiencia y seguridad del transporte de cargas críticas.

2.3. Metodología de transporte

Una vez se ha evaluado la red disponible se traza un plan de compatibilidad con los medios de transporte disponibles. A través de este plan se resuelve el punto 2 expresado en los objetivos de la P.I.2 “Desarrollo de soluciones óptimas”.

Para llegar hasta la ubicación elegida lo más probable es que haya combinar varios métodos distintos, produciéndose así lo que se denomina transporte multimodal. El transporte multimodal es la coordinación y utilización de dos o más modos de transporte diferentes en un único contrato de transporte, proporcionando una solución completa desde el punto de origen hasta el destino final (Pérez de Hedylla, 2023).

Diferenciando los procedimientos para el tránsito en cuanto a áreas geográficas se emplean los términos “*onshore*” y “*offshore*”. El término transporte *onshore* se refiere movimiento de bienes en tierra firme y, por tanto, el transporte y la distribución se realizan a través de rutas terrestres. Puede realizarse en el mismo país o en el mismo continente, pero siempre usando medios vía carretera o vía ferroviaria. Por otro lado, el transporte *offshore* hace referencia a las operaciones de movimiento de carga que tienen lugar en el mar o en aguas costeras. Todos los movimientos que impliquen cambio de continente o entre islas se considerarán *offshore*, haciendo referencia a actividad marítima y aérea.

La situación más habitual es combinar *offshore* y *onshore* para conseguir un transporte eficiente, de modo que los desplazamientos hasta los puertos o los aeropuertos desde los almacenes o las plantas productivas suponen la parte *onshore*, al igual que la entrega hasta el destino final una vez los materiales llegan a un puerto o aeropuerto.

2.3.1. Transporte *offshore*

Cuando se trasladan cargamentos desde otro continente o isla, por vía marítima o aérea hay varias opciones disponibles al seleccionar el medio de transporte adecuado. La lista puede variar según las circunstancias específicas de cada operación, pero los gastos comunes asociados con el transporte *offshore* suelen incluir el flete⁵, seguro, tarifas portuarias y carga y descarga. Este costo puede variar según el tipo de embarcación o aeronave, la distancia a recorrer, el tiempo requerido y otros factores logísticos.

Será necesario basarse en detalles como las dimensiones de la carga, el punto de recogida y los Incoterms acordados en la orden de compra con diferentes proveedores para determinar el modo más favorable.

El transporte marítimo es la opción más eficiente para transportar grandes cantidades de carga a través de largas distancias y se lleva a cabo por el mar, utilizando embarcaciones adecuadas a las necesidades de la carga. Es una de las formas más antiguas y económicas de transporte internacional, especialmente para cargas a granel y de gran volumen. Además, implica costes más bajos en comparación a otras modalidades por lo general.

El transporte de carga pesada por vía marítima ha avanzado significativamente, incluyendo el uso de buques de carga especializados y técnicas profesionales de carga para optimizar la logística marítima (Ren-yi, 2007).

Sin embargo, algunas de las desventajas son: los largos tiempos de tránsito, la susceptibilidad a las condiciones climáticas y los riesgos y la incertidumbre en cuanto al precio de los fletes que se dan en los últimos años. Estas fluctuaciones comenzaron con la pandemia Covid-19 y actualmente, en mayo de 2024 el riesgo de piratería en ciertas rutas marítimas se ha visto incrementado debido al conflicto existente entre Israel y la Franja de Gaza. Por parte de los *hutíes*⁶ se han producido actos de secuestro y destrucción de buques y mercancías obligando a las navieras a cambiar la ruta que, para evitar el Mar Rojo y el Canal de Suez, ahora pasan por el Cabo de Buena Esperanza en el Cuerno de África. Esto se traslada al mercado en un aumento tanto de los precios como de los días de tránsito.

Cuando se determina la vía de recepción de las mercancías por mar, siempre se analizan las posibilidades disponibles, es decir, los puertos comerciales más cercanos, tanto marítimos como interiores, y si no es posible su uso, se ahonda en opciones

⁵ Pago realizado a la empresa naviera o al operador de la embarcación por el transporte de la carga

⁶ Los *hutíes* son un grupo insurgente con raíces profundas en la historia y la marginalización de los *zaidíes* en Yemen.



específicas para obtener una solución respecto el traslado de los grandes equipos como la construcción de un *jetty* o *beach landing* en los casos más excepcionales.

2.3.1.1. Construcción de un muelle o *jetty*

A veces, no es posible utilizar los puertos comerciales o los existentes porque no tienen la capacidad suficiente para descargar los equipos o porque las rutas hasta el *site* son impracticables. Entonces, tras descartar esas opciones comienza una evaluación de las condiciones para un nuevo levantamiento. Se realiza un estudio de viabilidad en cuanto a: condiciones geográficas y geológicas, impactos ambientales y sociales, aspectos económicos y sociales, permisos de edificación y permisos ambientales. Posteriormente, comienza una fase de diseño e ingeniería que culminará con la instalación.

Tomando como ejemplo la situación que se dio con el puerto de Manzanillo, en Pepillo Salcedo, República Dominicana. A pesar de la existencia de un puerto, que fue construido por una compañía exportadora de banano en 1950, y que en la actualidad se encuentra en funcionamiento y se utiliza para la exportación de este producto, se determinó que este muelle no es válido para la descarga de otro tipo de equipos. El muelle aparentemente tiene un estado que permitiría su uso. Sin embargo, debido a la exposición al mar y al oleaje sufridos, sus pilotes se han deteriorados y no soportan las toneladas suficientes para poder transportar un equipo pesado, llegando a aguantar sobre sus cimientos un máximo de 72 toneladas.

Por este motivo, ante la construcción de central de ciclo combinado Manzanillo, la empresa constructora se vio obligada a investigar las alternativas disponibles y finalmente decidió construir un *jetty* para poder trasladar hasta allí las piezas necesarias para la planta. Este muelle cuenta con una capacidad de 400 toneladas y una longitud de 270 m, permitiendo así el abastecimiento.

2.3.1.2. Aterrizaje en la playa o *beach landing*

El beach landing se refiere a operaciones para alcanzar áreas remotas o de difícil acceso, similares a una playa, donde la infraestructura portuaria tradicional puede ser limitada o inexistente. Está inspirado en las operaciones militares de desembarco en playas durante conflictos bélicos, como el desembarco de Normandía, pero se aplica de manera civil en contextos logísticos para abordar desafíos específicos de suministro. Consiste en el acceso de una barcaza especial normalmente hasta aproximarse a la orilla, de costa o río indistintamente, y entonces desplegar una rampa que permita la descarga rodada de la carga hasta tierra firme.

Para verificar si es posible la alternativa se llevan a cabo numerosos estudios previos. Entre ellos se realiza un análisis de la batimetría del terreno sumergido cercano a

la orilla donde se planea realizar la ejecución y pruebas de presión en la arena de la playa con la marea baja para garantizar de tiene la densidad suficiente para soportar la presión de carga. También se estudian los anclajes o contrapesos que se necesitan en la orilla para poder amarrar la barcaza mientras se realiza el desembarco. Para adaptar el terreno a la maniobra a menudo es necesario realizar trabajos en la zona que consisten en el dragado del fondo sumergido o, por el contrario, la técnica de relleno añadiendo más arena.

Esta opción se toma como última porque tiene gran impacto medioambiental, destruyendo los ecosistemas marinos o de los ríos al perjudicar los fondos.

A continuación, se exponen dos ejemplos de esta maniobra:

El desembarco en la playa en la serva peruana. Es el caso de la construcción de una central eléctrica en la selva de Iquitos en Perú. Para este proyecto era necesario transportar desde Rotterdam 7 motores de 128 toneladas por unidad. Ante la imposibilidad de descargar en puertos cercanos porque no tienen la resistencia suficiente, se decidió navegar a través del Amazonas en los meses en los que las lluvias lo hacían posible ya que en los últimos años se ha visto afectado por la sequía. Un buque atracó en uno de los puertos del Amazonas y la carga se cargó en barcazas que la llevaron hasta el site 7 final atracando en uno de los márgenes del gran río y realizando entonces una descarga rodada.

El desembarco del “See Monster” en Reino Unido. Este caso tiene un trasfondo poco habitual, pero es un buen ejemplo de *beach landing* de un equipo sobredimensionado y pesado. En el año 2022 el Gobierno de Reino Unido decidió realizar acciones para generar diálogo sobre la reutilización y la energía sostenible por lo que tomó la estructura de una antigua plataforma petrolífera del Mar del Norte que se encontraba fuera de servicio y bautizándola como Sea Monster la trasladó con el fin de crear una obra artística a partir de ella. Con 35 metros de altura y 415 toneladas realizó una travesía de 5 días en una barcaza de 75 metros hasta llegar a su destino, donde con la ayuda de SPMTs⁸ se logró una descarga exitosa e impactante visualmente, lo que la estrategia de marketing buscaba.

2.3.1.3. Puertos fluviales o interiores

Los puertos fluviales o interiores son instalaciones portuarias ubicadas tierra adentro, generalmente a lo largo de ríos, canales o áreas navegables interiores, que facilitan el transporte de mercancías y pasajeros en las vías fluviales. Los puertos fluviales desempeñan un papel importante en la logística y el comercio al conectar las regiones

⁷ Localización.

⁸ Self-Propelled Modular Transporter que quiere decir Transformador Modular Autopropulsado



interiores con los centros urbanos costeros o con otros sistemas de transporte, como ferrocarriles y carreteras.

Algunas de las ventajas que aporta el transporte fluvial es la posibilidad de transportar mayores volúmenes en comparación con el transporte terrestre. Por otro lado, este transporte plantea problemas como el uso estacional dependiendo de las condiciones climáticas, ya que causas como la sequía o las crecidas lo hacen impracticable o solo permiten su uso en ciertas épocas del año. Entre los principales ríos navegables que se emplean para el transporte de mercancías pesadas porque a veces son la única opción se encuentran:

1. Río Amazonas. Es navegable en muchos tramos a lo largo de su extenso curso. Con una longitud de aproximadamente 7,062 kilómetros, el río Amazonas es el río más largo y caudaloso del mundo. Aunque existen partes del río que presentan obstáculos naturales como rápidos, bancos de arena y estrechamientos, hay tramos significativos que son perfectamente navegables. En ocasiones es el único modo de transportar mercancías hasta algunos lugares por lo que se transporta todo tipo de bienes.
En cuanto a puertos principales se pueden destacar los de: Iquitos (Perú), Manaus (Brasil), Santarém (Brasil), Macapá (Brasil) y Belém (Brasil).
2. Río Misisipi. Con una longitud de aproximadamente 3.730 kilómetros atraviesa varios estados de los Estados Unidos, desde Minnesota, en el norte, hasta Luisiana, en el Golfo de México, en el sur. Es navegable para una variedad de embarcaciones, desde pequeñas embarcaciones recreativas hasta grandes barcas y buques de carga. Su navegabilidad es posible gracias a una serie de esclusas y represas a lo largo de su curso que controlan el flujo del agua y permiten que las embarcaciones naveguen río arriba y río abajo.
Cuenta con 16 puertos a lo largo de su trayectoria, algunos son: el puerto de Itawamba, Ambory, Lownes County, Rosedale o Greenville. El puerto de Greenville, ubicado en el condado de Washington, que se puede ver en las siguientes ilustraciones cuenta con un muelle de hormigón y numerosas grúas que permiten la descarga de equipos de hasta 30 Tons. Además, está conectado por dos carreteras y un tramo de ferrocarril de unos 24 kilómetros.
3. Río Yangtsé. Es el río más largo de Asia y el tercero más largo del mundo, con una longitud de aproximadamente 6.300 kilómetros. El río Yangtsé y sus afluentes son vitales para la economía de China ya que facilitan el transporte de productos agrícolas, industriales y manufacturados, así como el transporte de

personas. En sus puertos se incluyen: Shanghái (ubicado en el delta del río), Nanjing, Chongqing y Wuhan.

4. Río Rin. El Rin es uno de los ríos más importantes de Europa y cuenta con varios puertos fluviales a lo largo de su curso, incluidos Rotterdam y Ámsterdam en los Países Bajos, y Colonia en Alemania.

Continuando con el transporte *offshore* se puede hablar del transporte por aire. Es el más rápido sin lugar a duda, pero ello implica costes muy elevados y la limitación en cuanto a volumen, que suele ser el principal problema. Otra de las tareas que debe hacerse al conocer la ubicación del proyecto será localizar los centros de carga o *cargo hubs* en los aeropuertos más cercanos, ya que podría ser necesario mover mercancía de manera urgente para no provocar retrasos en la construcción.

El transporte aéreo generalmente se utiliza solo para envíos de tamaño pequeño a mediano y cuando las restricciones de tiempo son de suma importancia. Los horarios de entrega del proyecto son extremadamente susceptibles a retrasos. Cuando el tiempo es esencial, el costo puede pasar a ser una consideración secundaria. Debido a la velocidad del servicio y a los límites del espacio de carga en las aeronaves, el transporte aéreo es un medio de transporte comparativamente costoso en comparación con métodos alternativos como el transporte por carretera o marítimo.

Se define la estrategia a seguir en caso de llevar carga aérea y en función de los proveedores se elige también el centro de carga a emplear. El aeropuerto que más tránsito de este tipo tiene es el de Hong Kong (KKG), la causa es que se toma como foco principal del comercio internacional con China donde se fabrica masivamente todo tipo de productos.

2.3.2. Transporte *onshore*

Se considera transporte *onshore* el transporte dentro de los propios países o del mismo continente que se lleva a cabo por carretera o vía férrea, esta clasificación también se incluyen los trabajos que se realizan en las terminales de los puertos marítimos, tanto de manipulación como administrativos.

El traslado por carretera casi siempre es parte del proceso logístico, componiendo así un transporte multimodal. La carga dentro del mismo país o que se considera *onshore*, directamente se transporta por carretera en su mayor parte ya que conecta origen desde las instalaciones de los proveedores hasta el destino final evitando la necesidad de realizar transbordos. También la carga que llega de manera *offshore* se mueve desde los aeropuertos o puertos usando habitualmente este método.

Se estudian las carreteras que llegan hasta el sitio final en cuanto a: conexiones con otras carreteras, limitaciones en cuanto a dimensiones en la circulación y posibles



obstáculos para carga pesada o sobredimensionada. Los tipos de vías pueden ser muy diversas en función del país en el que se vaya a trabajar, por ejemplo. no será comparable el diseño de ruta en España y en República Dominicana

El transporte por ferrocarril es utilizado de forma significativa en algunos países, mientras en otros que cuentan con mejores infraestructuras por carretera o que tienen una extensión pequeña en su territorio no se emplea. Las ventajas que puede aportar es que permite manejar grandes volúmenes de carga mientras en el lado de las desventajas se encuentran las restricciones en ancho y alto a causa de los túneles que pueda haber en los recorridos.

En Estados Unidos existen 225.000 km aprox. de vías férreas por las que se transportan todo tipo de productos como agrícolas, químicos, combustibles desde México. También en India es muy relevante por su amplia geografía, se utiliza para distribuir productos a lo largo del país ya que cuenta con unos 67.000 km de vía.

En determinadas ocasiones la red ferroviaria se emplea para conectar con puertos interiores o secos con marítimos. Concretamente en Kenia se da esta situación que se expone a continuación. La Autoridad Portuaria de Kenia ha creado depósitos interiores de contenedores (*Inland Container Depots*), en adelante “*ICD*” en Nairobi. Este depósito está conectado a la terminal de contenedores del Puerto de Mombasa a través de un servicio ferroviario. Las importaciones que llegan al país se entregan directamente desde Mombasa al depósito mediante un Conocimiento de Embarque Directo (*Through Bill of Lading*).

En algunos casos existe la posibilidad de trasladar los contenedores desde el Puerto de Mombasa al Depósito Interior de Contenedores en Nairobi o al Puerto Interior de Naivasha. Las autoridades portuarias de Kenia han establecido este sistema con el objetivo de facilitar el transporte interior y descongestionar los puertos. El Ferrocarril de Calibre Estándar (*Standars Gauge Railway “SGR”*) va desde el Puerto de Mombasa hasta el Puerto Interior de Naivasha, por lo que es posible desplazar la carga en contenedores hasta Naivasha mediante un conocimiento de embarque directo y luego realizar el despacho de aduanas allí directamente. Una vez que la carga se despacha y se libera, se utilizarán camiones locales para la entrega final en el sitio. Solo la carga seca y los contenedores abiertos dentro de las dimensiones OTG (*Open Top In Gauge*) pueden moverse a través de este sistema ferroviario. Todos los contenedores *Dry Van* pueden ser llevados por ferrocarril al ICD y luego transportados por carretera hasta el sitio y el depósito está vinculado a la terminal de contenedores del Puerto de Mombasa por un servicio trenes en la línea de Ferrocarril de Calibre Estándar de Mombasa a Suswa. El ICD ha reducido la distancia



desde el Puerto de Mombasa en casi 572 kilómetros. En el Anexo I se puede observar el mapa en el que se muestran las conexiones ferroviarias.

El ICD de Naivasha no está muy ocupado en este momento, pero tiene todo el equipo de manejo necesario para la descarga y carga de contenedores, y cuenta con oficiales de aduanas para los procedimientos y operaciones requeridos. El desafío sería tener suficiente capacidad de camiones en todo momento en el ICD, ya que aún no está lo suficientemente ocupado para que los transportistas posicionen permanentemente sus camiones en el lugar. Algunas características del ICD son:

- La responsabilidad de los importadores comienza en el ICDN, por lo que no es necesario viajar para despachar la carga en Mombasa.
- Manejo de carga tanto en contenedores como suelta.
- Despacho de contenedores.
- Almacenamiento y manejo de contenedores vacíos.
- Pesaje de contenedores.
- Documentación de carga finalizada en el ICDN.
- Arrendamiento de espacios en el patio a las líneas navieras y otras partes interesadas para el almacenamiento de contenedores vacíos.
- Otros interesados presentes en el ICD son agencias gubernamentales, *Rift Valley Railways*⁹, agentes navieros, bancos, transitarios y transportistas.

3. Caso de estudio

A continuación, se expondrá un análisis detallado de un caso de estudio, aunque ya se han ido desarrollando algunos ejemplos de casos reales a lo largo de este TFM. Se presenta una situación ficticia de un proyecto en concreto. Para ello y por motivos de protección de datos, se ha generado un caso ficticio basado en un proyecto real de una empresa que opera en este sector. La ubicación posee las mismas características, pero se evita así la revelación de cualquier información confidencial.

Tomando por nombre del proyecto “*Dyrholene*” se plantará un proyecto localizado en los fiordos noruegos, añadiendo como reto el difícil acceso y examinando si los métodos ya disponibles pueden hacer posible las operaciones de logística hasta allí.

A lo largo de este estudio se busca poner en práctica lo anteriormente expuesto en el marco teórico y resolver de este modo las demandas planteadas en la introducción de una manera realista que facilite la comprensión del objetivo.

⁹ C onsortio formado para operar la red ferroviaria en Kenia y Uganda.

Dyrholene es un proyecto localizado en Noruega, concretamente en uno de sus fiordos, *Gulen*. El fiordo *Gulen* es el principal, que llegando a alcanzar una longitud de 12 km se divide en tres brazos: *Nordgulen*, *Midtgulen* y *Sørgulen*. El *site* elegido se encuentra en al inicio de *Midtgulen*, es una pequeña península en el condado de *Vestland*, a unos 10 km al suroeste de la localidad de *Svelgen*.

Se trata de un área sin industria que se dedica principalmente al sector de la pesca, es por esto que el planteamiento modular supone una novedad en la región. Se pretende transportar hasta la península estructuras ya consolidadas de grandes dimensiones. En la zona norte de *Nordgulen* existe una cantera, pero solamente se mueve carga general, ningún equipo que supere las capacidades normales.

El proyecto *Dyrholene* consiste en la construcción de una planta de amonio verde, una instalación industrial especializada en la producción de amonio utilizando métodos y tecnologías que minimizan el impacto ambiental y promueven la sostenibilidad. Se pretende llevar a cabo la edificación a partir de módulos ya ensamblados en un *yard*¹⁰ establecido.

Figura 2. Mapa localización del proyecto



Nota. Adaptado de Google Earth (2024) (<https://www.google.com/earth/>).

¹⁰ Se refiere a un profesional que trabaja en un patio de carga o depósito, comúnmente conocido como "yard" en inglés. Este patio puede ser parte de una terminal de carga, un puerto, una estación de ferrocarril u otras instalaciones de transporte. El rol del yardista se implica en la construcción de módulos.

3.1. Análisis de la localización

A través de la evaluación de la infraestructura existente, se obtiene una visión conjunta en cuanto la dificultad con la que se puede llegar hasta la ubicación precisa desde distintos puntos y direcciones, contemplando las alternativas posibles y seleccionando las que mejor se ajusten, encontrando un equilibrio entre costes y ventajas.

Se evalúa el estado de los puertos cercanos y la capacidad de carga que tienen para definir en cuáles se van a recibir los contenedores, y en cuáles los equipos especiales. También se investigan las carreteras por las que se pueden mover estos equipos de características no estándares. De este modo, se preestablecen las rutas para todos los bienes que van a formar parte en la construcción del proyecto. A su vez se determinan los aeropuertos que se utilizarán en el caso de ser necesarios envíos aéreos en función del origen de los envíos. Se utilizará esta modalidad de envío para emergencias principalmente, o en su defecto, cuando es una poco pesada o con un bajo volumen y no compensa el flete de un contenedor o un camión completo.

Para garantizar el éxito y la seguridad del traslado se examinan los riesgos potenciales que existen en las vías del recorrido establecido y tras eso, se procede a la identificación de puntos críticos. Es fundamental identificar correctamente estos puntos para poder investigar soluciones adecuadas. Los más comunes son:

Tabla 2. Puntos críticos de la ruta

Puntos críticos	Descripción	En el caso
Curvas peligrosas	Las curvas muy cerradas no suponen riesgo en especial para el tráfico de automóviles, sin embargo, pueden suponer un problema para vehículos de carga como camiones ya que no hay suficiente ángulo para poder realizar los giros.	Existen curvas que suponen un reto para el acceso terrestre a los fiordos.
Túneles	El principal problema en los túneles suelen ser las restricciones de altura, aunque en ocasiones la carretera se estrecha atravesando el túnel solamente uno de los carriles limitando así la anchura del transporte.	Debido a la orografía del terreno hay varios túneles que atraviesan montañas.

Estrechamiento en carreteras	Como se ha comentado anteriormente, limita el ancho de los equipos.	Esta situación está presente debido a lo salvaje de la ubicación.
Puentes	Asimismo, los estrechamientos de los carriles se dan los puentes planteando problemas para la correcta circulación. No obstante, el factor que más influye en el uso de un puente es su capacidad de carga, es decir, si su estructura puede soportar el peso al que se va a someter ya que puede plantear un riesgo de derrumbe.	En las posibles rutas que se examinan a continuación existen puentes que unen los fiordos entre sí.
Áreas con riesgo de inundación	Las inundaciones pueden suponer la inhabilitación de las arterias de acceso y la no entrega de materiales paralizando el proyecto.	No existen. Sin embargo, debe prestarse atención a las condiciones climáticas extremas que hay en algunas estaciones.
Tendido eléctrico	Cuando el cableado no está soterrado ni a una altura muy elevada por lo que a la hora de transportar cargas que implican altura es un impedimento.	No suponen problema. Los cables están soterrados o debidamente elevados.
Áreas con riesgo de desprendimientos	Algunas laderas en áreas montañosas suponen un riesgo en cuanto a obstáculos y a seguridad.	Suponen un riesgo, sobre todo en época de deshielo.
Arcenes de carreteras	Si las carreteras tienen arcén, en su mayoría supone que siempre que la carga se eleve por encima del guardarraíl hay un margen para la anchura.	Es un problema ya que las laderas de las montañas limitan el arcén.

Nota. Elaboración propia.

Una vez examinadas las instalaciones existentes se debe determinar si son útiles para su utilización y, en caso de no serlo, evaluar las posibilidades que existen para encontrar una solución adaptada que pasa por la mejora de un acceso ya existente o el desarrollo de una nueva infraestructura.

- Mejora del acceso existente. En las situaciones en las que las infraestructuras de acceso ya están construidas, pero no tienen la suficiente capacidad o seguridad para emplearse en la ruta de los equipos hasta la ubicación, se pueden tomar las acciones de la Tabla 3 para acondicionarlas.
- Desarrollo de un nuevo acceso. En el caso de desarrollar un acceso desde cero, el objetivo principal será crear una infraestructura adecuada para un sitio nuevo o apartado de las poblaciones, siendo estos proyectos particularmente comunes en regiones en desarrollo o áreas rurales donde la infraestructura logística es limitada o inexistente. Esta situación suele darse en los proyectos *greenfield* como es la circunstancia de *Dyrholene*.

La construcción de una nueva fábrica o planta de producción en un terreno virgen que no se ha utilizado antes con fines industriales. Al no existir estructuras ni infraestructuras que considerar, un proyecto *greenfield* ofrece a planificadores e ingenieros mayor flexibilidad y libertad a la hora de diseñar la distribución de la fábrica y los procesos de producción. Esto permite integrar desde el principio tecnologías de vanguardia, procesos eficientes y prácticas sostenibles. Sin embargo, estos proyectos suelen llevar más tiempo y ser más costosos, ya que todo tiene que desarrollarse desde cero. Jürgen Heimbach (2024).

La principal desventaja es que esta creación de accesos supone elevados costes, aunque también aumentan el tiempo de ejecución de los proyectos. Esta nueva vía de entrada puede involucrar el diseño y construcción de nuevas carreteras, vías ferroviarias, puertos, aeropuertos u otros medios de transporte necesarios para facilitar el flujo eficiente de bienes y mercancías hasta la ubicación elegida mejorando así su conectividad con proveedores y, posteriormente con clientes. El proceso suele involucrar las fases de: planificación y estudio de viabilidad, diseño de infraestructura, obtención de permisos por parte de las autoridades para comenzar la construcción, la construcción propiamente dicha, integración con las redes de transporte existentes y puesta en marcha y comienzo de las operaciones.

Tabla 3. Acciones para la mejora de accesos ya disponibles

Ampliación de carreteras <i>bypass</i> ¹¹	de	En ocasiones con la incorporación de carriles adicionales o carreteras temporales.
Optimización de rutas ya existentes	de	Por ejemplo, en algunas zonas de Asia y Latinoamérica el tendido eléctrico puede suponer un problema en el transporte de algunos bienes por su altura, por lo que se procede a su levantamiento.
Modernización de puertos aeropuertos	de	Para hacer factible el uso de estas instalaciones hay ocasiones en las que se reforman o se implementan mejoras en cuanto a instalación de equipos de manipulación de carga o en materia de seguridad. Uno de estos ejemplos se da cuando un puerto tiene los pilotes deteriorados por la corrosión ocasionada por el contacto directo con el medio marino. La humedad, el oleaje o los cambios de temperatura generan un desgaste en la estructura que ponen en riesgo la estabilidad del muelle imposibilitando la descarga de grandes tonelajes. Entonces se toman acciones como reparación, refuerzo o cobertura de los pilotes o también se pueden emplear placas en el proceso de descarga para distribuir las toneladas por m2.

Nota. Elaboración propia.

Respecto a las condiciones climáticas de la región, esta zona pertenece a la Zona Estacional Invernal II del Atlántico Norte lo que significa que la temporada de invierno comienza el 1 de noviembre hasta el 31 de marzo. Durante este período se deben tener en cuenta las condiciones climáticas para el transporte. En las carreteras hay puntos en los que el hielo en la vía afecta al tráfico, debiendo estar informados de su estado, y siendo necesario un buen mantenimiento. Por otro lado, a Administración Costera de Noruega puede determinar alternativas áreas de embarque de prácticos dentro de aguas si las condiciones climáticas indican que el embarque o desembarque en el área principal de embarque no se puede realizar de manera segura.

3.2. Procedimiento para el transporte de HL y ODC

A la hora de materializar un proyecto y con el fin de asegurar que los bienes requeridos lleguen hasta su destino final sin daños ni pérdidas, sea cual sea el medio de

¹¹Nueva vía que se construye para evitar pasar por un punto en concreto.

transporte empleado para el envío (marítimo, aéreo, terrestre o ferroviario) se estipulan unas normas en cuanto al embalaje y marcado de los materiales y equipos que son de obligado cumplimiento por parte de los proveedores que entregan la mercancía.

Para el embalaje de cada paquete se tendrá en cuenta la siguiente información:

- Requisitos de protección de los bienes al ser embalados.
- Capacidad de los bienes para absorber humedad.
- Medios de transporte que van a ser utilizados.
- Ruta y duración del transporte, puntos de almacenamiento/parada y transbordo.
- Medidas anticorrosión requeridas.
- Centro de gravedad y problemas de peso.

En el momento de materializar el transporte, se solicita a los operadores de elevación pesada ¹²un estudio integral final de viabilidad o *route survey* para el transporte de equipos pesados críticos y sobredimensionados que deberá incluir:

- Puerto adecuado para recibir estos equipos.
- Lista de operadores de elevación pesada que están empleados en los Trabajos.
- Organigrama que muestre la gestión / supervisión del transitario y el operador de elevación pesada.
- Estudio de ruta que identifique todos los obstáculos principales y rutas alternativas según las dimensiones y peso del equipo crítico desde los puertos/puntos de entrada hasta la ubicación final.
- Detalles sobre todos los trabajos permanentes o temporales que deben llevarse a cabo en la ruta para garantizar un transporte seguro.
- Detalles sobre todos los permisos, licencias y otros requisitos aplicables del municipio.

Cualquiera que vaya a desarrollar el transporte deberá necesariamente cumplir los puntos anteriormente expuestos. Será necesario asegurarse de que solo se empleen operadores de elevación pesada y transporte con experiencia y capacidad en el transporte de tales equipos pesados y sobredimensionados desde el puerto o punto de entrada u otros lugares hasta la ubicación final en el o los sitios de trabajo. Habrá que llevar a cabo todos los trabajos requeridos indicados por este operador consultado, como construcciones de desvíos; movimiento de señales de tráfico, cables y otros obstáculos; refuerzo temporal de carreteras; y cualquier otro requerido en la ruta hacia el destino final.

¹² Los operadores de elevación pesada transitarios son empresas especializadas en la planificación, coordinación y ejecución del transporte de cargas pesadas y de gran tamaño.

Por otra parte, es importante que se proporcione siempre al transitario y al operador de carga pesada todos los documentos requeridos y generados por parte de los ingenieros o los fabricantes tales como las instrucciones de elevación y de amarre con el fin de que lo estudien debidamente y sigan las indicaciones. Antes del transporte de cualquier *HL* u *ODC* desde cualquier ubicación hasta la ubicación final, se elabora y presenta un plan de viaje para cada uno de los equipos en los que se identifica la metodología completa del transporte junto con los medios de transporte a utilizarse, otorgando la máxima importancia a las actividades de *HSE*¹³ (Salud, Seguridad y Medioambiente).

Los documentos requeridos para el transporte incluyen: los planos preliminares de elevación y transporte, así como las listas preliminares de carga los planos finales de elevación/transporte, y los planos de amarre o seguridad con suficiente antelación antes de que la carga esté lista para ser enviada que deben presentar los proveedores. Se revisarán y aprobarán estos planos tomando en consideración cualquier requisito adicional que el operador de elevación pesada considere necesario. Los planos de transporte indicarán claramente:

- Peso y dimensiones del equipo. El control de peso y dimensiones contribuye a la reducción de accidentes y daños en la infraestructura vial, al disminuir el impacto destructivo de los vehículos sobrecargados. Esto también reduce los costos de reparación de carreteras y mejora la seguridad vial (Vasilyeva, 2019).
- Centro de gravedad.
- Ojales de elevación y/o ubicaciones de eslingas.
- Tamaño de los ojales.
- Protección de eslingas con protector de madera o láminas de goma.
- Material utilizado en el soporte.
- Ubicación del soporte y número de soportes.
- Ancho, altura y peso del soporte (por cada unidad).
- Cualquier requisito y precaución específicos de transporte y elevación.
- Puntos de amarre. Un estudio sobre el comportamiento de un contenedor de transporte con amarre durante el tránsito en carreteras mostró la importancia de los puntos de amarre en la seguridad y estabilidad de la carga. Se aplicaron métodos de simulación para predecir el comportamiento dinámico y se validaron con pruebas experimentales (Pachpore, 2019).

El transitario adjudicado y el operador de elevación pesada podrán implementar los cambios que consideren necesarios según las características del buque en el que se

¹³ Se refiere a la gestión de la salud, la seguridad y el medio ambiente en el lugar de trabajo.

cargará y transportará el equipo, así como los vehículos que se utilizarán para el transporte terrestre desde el puerto de llegada o cualquier taller hasta el sitio. Se inspeccionarán los equipos en los talleres de los proveedores o en los puertos de carga para garantizar que el equipo esté completamente asegurado para el transporte, y que las operaciones de manipulación y carga se realicen con los medios y de manera adecuada. Los puntos de amarre se considerarán tanto para asegurar los equipos a los buques en el transporte marítimo como para asegurarlos al camión para el transporte por carretera.

3.3. Acceso a la localización

En esta sección se concreta la metodología de transporte, así como las infraestructuras que van a emplearse en el proceso. Para ello se abordará el transporte marítimo, profundizando en las embarcaciones que se van a emplear y también en los puertos o alternativas elegidas junto a su justificación.

Así mismo, se abordará el tema del transporte aéreo, especificando y delimitando los aeropuertos que se pueden emplear analizando los distintos *hubs* disponibles, sus capacidades, ubicación geográfica y las conexiones que ofrecen, para proporcionar una visión completa de las opciones de transporte aéreo en la región.

Respecto al transporte *onshore* solo se expondrá el transporte por carretera, desglosando los puntos críticos en las rutas que se han estudiado, ya que no existe una red ferroviaria viable cerca del sitio del proyecto para respaldar este proyecto en Noruega.

A partir de este enfoque del entorno del proyecto en conjunto, se confecciona el desarrollo de soluciones óptimas plantado en la P.I.2 como conclusión. Al examinar detenidamente los diversos aspectos del transporte terrestre, desde la infraestructura existente hasta las necesidades y desafíos específicos, se podrán diseñar estrategias y propuestas que optimicen la movilidad, mejoren la eficiencia y promuevan la sostenibilidad en el sistema de transporte.

3.3.1. Transporte marítimo

A modo de establecer un plan logístico para toda la carga del proyecto, los equipos de medidas estándar que se consideren carga general se trasladarán en un buque portacontenedores, como su propio nombre indica, este tipo de buques se emplean en el transporte de contenedores. El envío de carga en contenedores es el medio más seguro y fácil de transportar materiales y equipos, por lo que, siempre que sea posible, es el método preferido de envío. Los de mayor magnitud como el *Ultra Large Container Vessel (ULCV)* tienen hasta 400 metros de eslora y hasta 60 m de ancho con un calado de 15 m aprox., lo que le permite cargar hasta 24.000 TEU.

Los contenedores empleados deben cumplir con los estándares ISO/IMO en tamaños de 20' o 40'. Estas medidas se encuentran estandarizadas a nivel mundial lo que significó un gran impulso en el comercio mundial.

A su vez, cualquier carga que pueda ser estibada de manera convencional en la bodega de un buque de carga, en lugar de ser transportada por unidades, contenedores o enviada a través de servicios de *Roll-on/Roll-off*¹⁴(RO/RO), se denomina carga convencional o a granel y puede ser enviada a través de servicios de carga convencional o a granel. Estos buques cuentan con sus propias grúas incorporadas para carga y descarga en los puertos.

Tienen bodegas donde se almacena la mercancía, aunque de igual modo cuentan con una cubierta que también se utiliza como se puede ver en la imagen inferior y se puede transportar tanto carga a granel como fraccionada, equipos pesados, materiales no contenerizados. Se organizará un envío bajo cubierta con el transportista si las especificaciones del proveedor requieren este tipo de manipulación.

Para transportar el *bulk*¹⁵del proyecto se usarán los buques graneleros o *bulk carrier*. Estos buques cuentan con grandes bodegas en las que transportan mercancía a granel del mismo tipo y sin divisiones, los más grandes tienen capacidad para transportar hasta 400.000 toneladas. Los *bulk carrier* tienen una gama muy diversa de tamaños en función de si se usan en transporte internacional o no.

En el ámbito de los proyectos se usa para el traslado de *piping*¹⁶o tuberías en las ocasiones en las que, tras hacer una comparación económica entre contenedores y *bulk carrier*, resulta ser la alternativa más económica. Es importante destacar que para usar este servicio hay que tener un mínimo de carga, que suelen ser 1500 Freight Ton.

Las instalaciones de muelles noruegos están reguladas en la Ley Noruega sobre puertos y vías navegables, la cual también abarca el mar territorial y las aguas interiores. Esta ley tiene como objetivo promover el transporte marítimo y facilitar operaciones portuarias eficientes, seguras y respetuosas con el medio ambiente, así como el uso de vías navegables. También cubre la responsabilidad de los municipios en cuanto al rompimiento de hielo necesario y la eliminación de otros obstáculos para el transporte marítimo, además de regulaciones para la recepción de buques en puertos. Las terminales

¹⁴ Carga y descarga rodada de los equipos.

¹⁵ Materiales de construcción a granel que se necesitan en grandes cantidades.

¹⁶ En proyectos industriales, el *piping* se refiere al sistema de tuberías diseñado para transportar líquidos, gases, o incluso sólidos.

elegidas para la recepción de mercancía son el puerto de Svelgen y el puerto de Florø, comentando sus características a continuación.

➤ Puerto de Svelgen

El puerto de Bremanger está en Svelgen, aproximadamente a 10 km al este del sitio del proyecto. Se trata un puerto pequeño que tiene un calado de 8,7 m y se utiliza principalmente para buques de carga general, transportadores de pescado y buques portacontenedores. Los buques portacontenedores son los barcos más grandes que llegan a Svelgen, con longitudes típicas de alrededor de 135 metros. La actividad de este tipo de buques se dirige principalmente a la cantera de Bremanger en Dyrstad pero se incorpora como opción para la recepción de contenedores del proyecto.

El muelle está diseñado como un muelle de concreto, se indica que tiene una longitud de 35 metros, es una instalación pública y la autoridad portuaria cuenta con personal las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

Figura 3. Puerto de Svelgen



Nota. Adaptado de Google Earth (2024) (<https://www.google.com/earth/>).

➤ Puerto de Florø

El puerto de Florø es un centro de transporte marítimo entre Bergen y Ålesund. Los muelles públicos, propiedad y gestionados por el municipio de Florø, se encuentran en varias áreas como el centro de la ciudad de Florø, Fugleskjærskai, Gunhildvågen, Hesteneset y Botnastranda. Los usos de estos diferentes muelles varían desde muelles de espera, ferris de pasajeros y buques pesqueros hasta cruceros, buques portacontenedores y actividades offshore.

Los *heavy lift vessels* de concreto reforzado están desarrollados para levantar estructuras pesadas en alta mar, con grandes tanques de descarga y marcos de elevación pivotantes que manejan hasta 25,000 toneladas (Holm, 2008). Algunas características de estos buques son:

- Tienen cubiertas reforzadas para soportar el peso de material extremadamente pesado, el cual no tiene sus toneladas distribuidas uniformemente ya que pueden tener formas irregulares.
- Están equipados normalmente con grúas con capacidad para mover entre 500 y 1.000 toneladas, mientras en los buques convencionales llegan hasta las 250 toneladas.
- Cuentan con sistemas de lastre que ayudan a mantener el equilibrio del buque.
- Tienen sistemas de sujeción especiales.

Dentro de esta categoría se engloban diferentes tipos de buques especializados que, dependiendo de los orígenes y de las características de los puertos en los que se va a atracar, se emplearán para el transporte de equipos pesados y sobredimensionados. Se comentan a continuación:

Los buques de cubierta semisumergible. La peculiaridad de estos buques es que cuentan con un sistema de flotación que permite sumergir la superficie del carguero con la finalidad de utilizar el sistema de carga *float on- float off* (FLO-FLO). Una vez sumergida la cubierta se desplaza sobre ella la mercancía que se va a transportar que se encuentra flotando en el agua y cuando está colocada se eleva de nuevo con el sistema de lastre quedando la carga segura sobre la cubierta. Para la descarga se utiliza el mismo sistema.

El buque *heavy lift* más grande del mundo es el *Dockwise Vanguard*, construido en Corea del Sur en el 2012. Este buque semisumergible tiene una cubierta de 275m de largo y 70m de ancho y una capacidad de carga de unas 110.000 toneladas. A su vez tiene un diseño que permite el flujo de agua en esta cubierta pero el interior del buque se encuentra sellado impidiendo el paso del agua. Cuenta con carcasas de flotabilidad que hacen posible el equilibrio de la embarcación, además del proceso de sumergirse.

Los buques de carga de cubierta abierta o buques *open deck* tienen su ventaja como su propio nombre indica en la cubierta de la embarcación. Cuentan con una superficie plana que permite el transporte de cargas con grandes volúmenes, carecen de paredes laterales por lo que permiten el transporte de equipos más anchos que el propio buque. La carga se realiza a través de sistemas *RO-RO* ya que cuentan con una rampa en la proa o en la popa que permite hacerlo así o mediante izado con las propias grúas de la embarcación. Se utilizarán para el transporte de grandes módulos.

Los buques de muelle o *dock ships*, al igual que los semisumergibles, utilizan el sistema de lastre con agua para dejar su cubierta bajo la superficie y proceder así a la carga de la mercancía. Se diferencia de ellos en que estos cuentan con paredes laterales y estos suelen usarse para el traslado de otros barcos.

Los buques de carga de proyecto o *project cargo* son embarcaciones de menor tamaño y capacidad que las anteriores, pero con características diferentes a los buques convencionales. También sirven para el manejo de equipos con grandes volúmenes, *heavy lift* o con distribución irregular en los equipos pesados y tienen capacidad para transportar hasta 19.000 toneladas, cuentan con grúas incorporadas con capacidad de gran tonelaje y además, los equipos se suben a la superficie a través del sistema *LIFT On-Lift Off (LO-LO)*, izándolos con las grúas del propio buque.

Un ejemplo de estos buques son los *Jumbo's heavy lift vessels*. La compañía *Jumbo Maritime* se ha especializado en las embarcaciones para la carga de proyectos, contando en la actualidad con una flota superior a 30 buques, 12 de ellos con grúas dobles que pueden elevar entre 1.400 y 3.000 toneladas.

Figura 5. Buque heavy lift Jumbo



Nota. Adaptado de "Jumbo Shipping and SAL Heavy Lift alliance kicks off," por Splash 24/7, s., *Splash 24/7* (<https://splash247.com/jumbo-shipping-and-sal-heavy-lift-alliance-kicks-off/>).

Por otro lado, los buques RO-RO son los de carga *Roll On- Roll Off*, es decir, de carga rodada. Se puede transportar todo tipo de carga rodante, aunque habitualmente se emplea en el transporte de vehículos. Para la carga de proyecto son muy utilizados, específicamente en el caso del transporte modular ya que se facilita la carga y descarga mediante los *SPMTs*. Se van a utilizar para el transporte de los módulos en el proyecto.

Cuentan con un portón en la proa o en la popa normalmente, o en el lateral, aunque es menos común, que se despliega haciendo de rampa por donde asciende o desciende la mercancía.

Las barcazas o *barges* son otro tipo de transporte marítimo o fluvial. Son embarcaciones con una cubierta y un fondo planos en las que se transporta la mercancía a través de ríos, canales o zonas costeras de bajo calado. Comúnmente en los proyectos cuando se emplean barcazas se realiza un *double handling* en los puertos marítimos, es decir, se descargan los equipos del buque transoceánico y se cargan en estas para el traslado directamente al sitio deseado. Los buques suelen ser de líneas regulares por lo que atracan en los puertos comerciales, una vez ahí la mercancía se translada a una de las barcazas. Estas *barges* pueden tener autonomía o pueden necesitar impulso externo como se expone en los siguientes puntos.

Las barcazas tipo pontona o *deck barges* son plataformas que flotan sobre la superficie del agua, pero carecen de impulso propio y se usan para el transporte de cargas muy pesadas. Normalmente es necesario que un remolcador o empujador colabore en el proceso de desplazamiento. En la figura inferior se puede observar este proceso en el que la pontona es empujada por una de estas embarcaciones especiales.

Figura 6. Barcaza empujada



Nota. Adaptado de "Beach Landing: One of the UK's Largest Ever Art Installations," por Mammoet, s.f. Mammoet (<https://www.mammoet.com/cases/beach-landing-one-of-the-uks-largest-ever-art-installations/>).

Las barcazas autopropulsadas, a diferencia con las anteriores, tienen un sistema propio para impulsarse incorporado en la propia estructura. Necesitan menos calado que

los buques, pero tienen la capacidad necesaria para transportar la carga en la plataforma por sí solas. Una de estas es la barcaza Dong Bang Giant 1, representada en la Figura 7, que cuenta con estas características:

- Sus dimensiones son de 139 m x 32 m x 7,5 m.
- La máxima carga que puede transportar es de 4.254 toneladas.
- Capacidad en la cubierta de
- Necesaria la reserva de 1000 toneladas para rejillas, agua de lastre, bombas, cabrestantes, herramientas y un adicional de 844 toneladas para SPMT.

Figura 7. Buque Dong Bang Giant 1



Nota. Adaptado de "Detalles del buque "DONGBANG GIANT NO.1," por VesselFinder, s.f., VesselFinder (<https://www.vesselfinder.com/es/vessels/details/9351933>).

En el caso de mover cargas desde el extranjero hacia Noruega, se emplearán estos métodos que se han mencionado y también han estudiado las opciones disponibles, en base a detalles como las dimensiones de la carga, el punto de carga y el Incoterm acordado con el proveedor, entre otras cosas, se han determinado las opciones expuestas.

A pesar de que a través del puerto de Florø se van a recibir equipos críticos, las carreteras no tienen la suficiente amplitud para el traslado de módulos y es por esto que, debido a la ubicación remota del sitio, será necesario construir un muelle para la futura operación de la planta. Este también se utilizará durante la construcción para la descarga de equipos que no están en contenedores o que no pueden ser transportados por las infraestructuras ya habilitadas. Se deberá decidir el diseño concreto por parte del equipo

de ingeniería, tras un exhaustivo estudio de la península, y cuál será la mejor ubicación del *jetty* o *Marine Off-loading Facility* ¹⁷(MOF), permitiendo así el transporte hasta allí.

El *MOF* se utilizará para la descarga de *HL*, *ODC* y, sobre todo, este muelle será esencial para la descarga de las estructuras modularizadas en el proyecto. Este *MOF* debe ser adecuado para el método de amarre mediterráneo de los buques y así permitir la descarga de los módulos o equipos con *SPMT* por lo que tiene que ser compatible con el método de descargan *Ro-Ro*. Además, diversos tipos de embarcaciones deben tener la posibilidad de atracar en el muelle, entre ellos se pueden considerar para el movimiento de las estructuras modulares evitando el traspaso de buque a barcaza el BigRoll Biscay.

Es un buque especializado en el transporte de módulos que es más pequeño que la mayoría de los otros buques. La cubierta de carga al ras del BigRoll Biscay mide 123,8 mx 32.2 m y la capacidad total de carga de la cubierta de todos los transportadores de módulos es de 20 mt/m². Otras características son:

- El módulo máximo que se puede transportar es de 2830 T.
- Dimensiones en el nivel del suelo: 24 m x 48 m.
- Altura a definir.
- Descarga durante la marea alta.
- Reserva de 1000 T para parrillas, agua de lastre, bombas, cabrestantes, herramientas y un extra de 844 T para SPMTs (configuración de 3 carros dobles y 6 *Power packs*).

Figura 8. Buque Roll Biscay



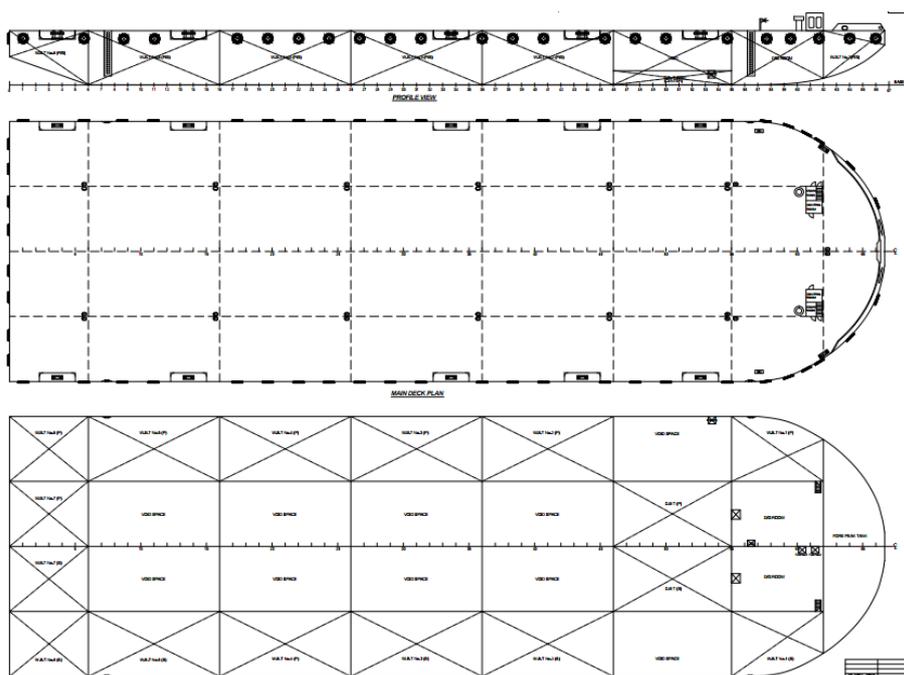
Nota. Adaptado de "BigRoll Biscay," por Roll Group, s.f., *Roll Group* (<https://www.roll-group.com/fleet/bigroll-biscay/>).

¹⁷ Se trata de una instalación portuaria especializada en la descarga de materiales, suministros y equipos desde buques marítimos.

Otro método de transporte sería mediante barcaza, que se muestra en la Figura 10, en este caso para distancias más cortas. Un ejemplo de barcaza que podría utilizarse es la barcaza de 400 pies que se muestra. Para llegar al muelle, se requerirá una doble manipulación en un puerto cercano en Europa, pudiendo ser este el puerto de Florø, donde el buque transoceánico atracará y luego, el equipo será transferido a la barcaza que será empujada o remolcada por otra embarcación hasta llegar al muelle que se construya en Dyrholene. Se deben tener en mente algunas consideraciones:

- El módulo máximo que se puede transportar es de 4389 T.
- Dimensiones en el nivel del suelo: 24 m x 48 m.
- Altura por definir.
- Descarga durante la marea alta.
- Reserva de 1000 T para parrillas, agua de lastre, bombas, cabrestantes, herramientas y un extra de 844 T para SPMTs (configuración de 3 carros dobles y 6 *Power packs*).

Figura 9. Barcaza 400 pies



Nota. Adaptado de "400ft Heavy Lift Barge," por VL Maritime, s.f., *VL Maritime* (<https://www.vlmaritime.com/es/product/g0050-400ft-heavy-lift-barge/>).

3.3.2. Transporte aéreo

El transporte aéreo será una alternativa para carga que requiera un corto tiempo de tránsito o que pueda ser necesaria en el sitio *just in time*¹⁸. Todos los pedidos de transporte aéreo se realizarán para entrega o descarga en el Aeropuerto de Oslo Gardermoen (OSL), que es el principal aeropuerto del país. Está ubicado a aproximadamente 500 km del sitio y una vez depositado, el material tendrá que ser transportado por carretera desde el aeropuerto hasta el sitio. El aeropuerto de Oslo es el más grande y concurrido de Noruega y sirve como el principal centro de conexiones para vuelos internacionales y domésticos, manejando una parte significativa del tráfico aéreo del país.

Esto significa que OSL ofrece una conectividad extensa, con numerosos vuelos directos a destinos en todo el mundo, y cuenta con instalaciones modernas, servicios extensos y enlaces de transporte eficientes, incluyendo conexiones por ferrocarril y carretera. Según la Revisión Internacional de Aeropuertos publicada por Avinor, el operador estatal de aeropuertos, en 2022 el aeropuerto procesó más de 149,000 toneladas métricas de carga. Este volumen refleja su papel crucial en la infraestructura logística y de transporte de Noruega, especialmente debido a su posición estratégica y su extensa conectividad.

En cuanto al aeropuerto Ålesund-Vigra (AES), ubicado en Vigra, Noruega, que también se ha analizado, maneja una cantidad significativa de carga pero está especialmente relacionado con productos del mar y manufactura local, no con productos industriales.

Aunque en la ciudad de Florø también hay un aeropuerto disponible, se considera que no tiene la suficiente relevancia como para que dentro de él existan centros de carga por lo que no se tomará en cuenta.

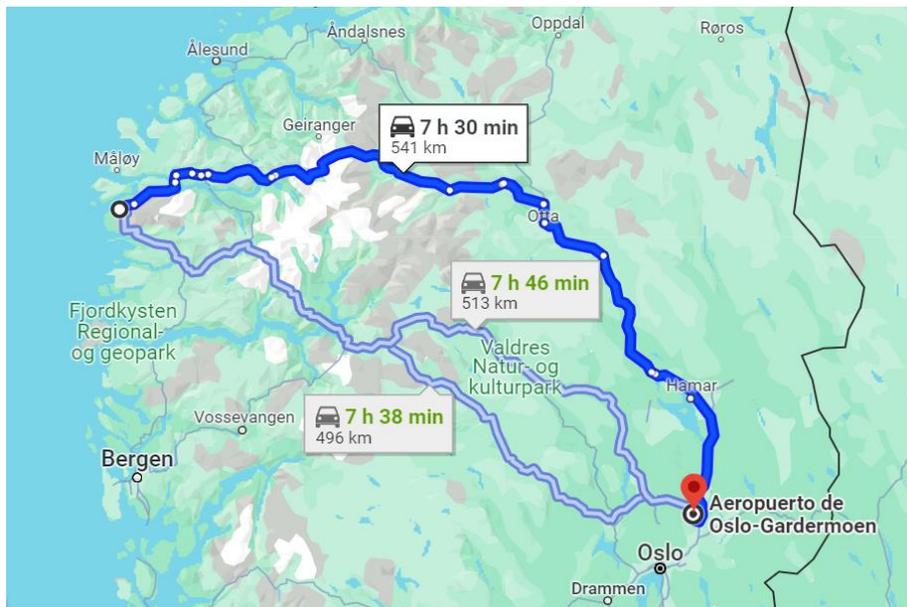
En el transporte común suelen usarse aviones mixtos o de carga. Los aviones mixtos cargan mercancía en las bodegas mientras transportan pasajeros en la parte superior. Por el contrario, los aviones de carga se dedican solamente al transporte de mercancía sin capacidad para transportar personas. Entre los aviones de carga que más destacan están el Boeing 747-400 ERF que carga en su interior hasta 112 toneladas y un volumen de 674 m³ y el modelo Boeing 747 F Freighter que cuenta con una cubierta reforzada permitiendo el flete de 107 toneladas y 669 m³. Por otro lado, la carga puede viajar a granel o suelta, en contenedores o en palets siendo estos los más comunes.

¹⁸ Es una metodología que alinea los pedidos de materias primas de los proveedores directamente con los horarios de producción.

El transporte en helicóptero normalmente no se utiliza a menos que haya restricciones muy específicas en el uso de carreteras, no haya otras opciones de transporte disponibles, o sea más rentable transportar maquinaria y equipo por helicóptero en lugar de construir caminos de acceso temporales. En Noruega, hay proyectos que utilizan helicópteros más grandes como el Super Puma para transportar excavadoras, plataformas de perforación y otro equipo grande, así como helicópteros más pequeños para el transporte de personal, diésel, explosivos y otro equipo ligero. Sin embargo, el transporte en helicóptero no se considera adecuado para este proyecto.

En el este ámbito, se puede afirmar que no existen restricciones significativas para utilizar el aeropuerto de Oslo para el transporte aéreo de pequeños artículos de construcción, los cuales luego se transportan al sitio a través de la red de carreteras existente.

Figura 10. Ruta desde el aeropuerto hasta el *síte*



Nota. Adaptado de Google Maps. (2024). *Google Maps* (<https://www.google.com/maps>).

3.3.3. Transporte por carretera

El transporte por carretera en Noruega desempeña un papel crucial en la conectividad y desarrollo económico del país, dado su extenso territorio y geografía compleja. La infraestructura vial noruega se caracteriza por su adaptación a un paisaje que incluye fiordos, montañas y climas rigurosos, lo que presenta desafíos para el transporte terrestre.

Las carreteras públicas en Noruega se dividen en carreteras nacionales, carreteras provinciales y carreteras municipales. La Administración de Carreteras Públicas de Noruega es la agencia gubernamental noruega responsable de las carreteras nacionales,

mientras las carreteras provinciales y las carreteras municipales están gobernadas por los consejos de los condados y los municipios respectivamente. Esto implica la planificación, desarrollo, operación y mantenimiento de las carreteras.

Las carreteras noruegas se clasifican según la capacidad de carga y la carga de tráfico permitida que se puede conducir libremente. Esta clasificación se indica con la abreviatura *Bk*¹⁹ seguida de la carga máxima permitida por eje/peso total. *Bk 10/50*, por ejemplo, denota una carga por eje de 10 toneladas (100 kN) y un peso total máximo permitido de 50 toneladas (500 kN).

Los vehículos normales de transporte por carretera se dividen en varias categorías, según la capacidad de carga del vehículo, y van desde furgonetas derivadas de automóviles familiares pequeños, pasando por vehículos de 7 toneladas, hasta vehículos estándar de 38 toneladas. Los tipos de remolques varían y hay varios tipos comunes entre los que se incluyen los de plataforma plana o de plataforma baja. Estos serán utilizados para disminuir la altura de los equipos ODC que se vayan a transportar desde el puerto hasta la ubicación del proyecto, salvando de este modo la problemática de algunos túneles que se encuentran en el trayecto.

- Remolques de plataforma plana o *flat bed trailers (FB)*. Son remolques con una plataforma plana de tabloncillos de madera colocados sobre un chasis de acero. Este es el tipo más común de remolque y la mayoría de las cargas se entregarán en el sitio utilizando este tipo de vehículo. Estos remolques se utilizan para mover tanto contenedores como cargas a granel.
- Remolques de plataforma baja o *low bed trailers (LB)* y remolques de semi-plataforma baja o *semi-low bed trailers (SLB)*. Son una variación del remolque plano que, como su nombre lo indica, tiene ruedas de pequeño diámetro que bajan la altura de la cama permitiendo llevar cargas más altas.

Además de estos tipos comunes de remolques, hay varios remolques contruidos especialmente capaces de transportar cargas grandes y pesadas, pero estos son los más usados para transportes especiales en proyecto.

- Remolques Modulares Autopropulsados o *Self-Propelled Modular Transporter (SPMT)*. Un transportador modular autopropulsado (*SPMT*) es un vehículo plataforma con una gran cantidad de ruedas en la parte inferior. Se utilizan para transportar objetos masivos como puentes, equipos de refinación de petróleo, grandes motores, secciones de puente grandes y otros objetos que son demasiado

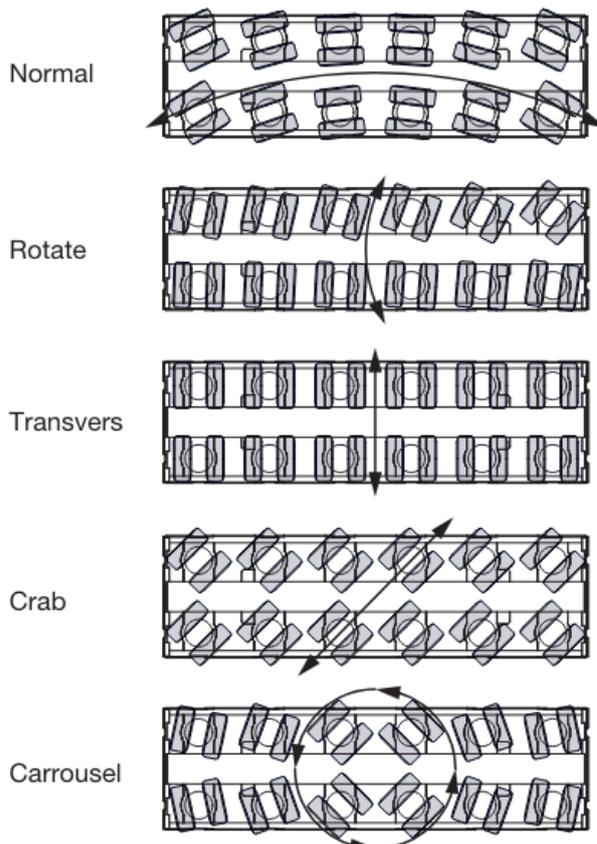
¹⁹ "Bk" es la abreviatura de "Bruttoklasse," que se traduce como "Clase de peso bruto" en español.

grandes o pesados para los camiones, aunque los camiones pueden proporcionar tracción y frenado para los SPMT en pendientes y descensos.

Son grandes aliados en el manejo de equipos muy pesados y se emplean de manera conjunta en función de las necesidades de la carga. Cada una de las unidades tiene módulos con líneas de 4,5,6 y 8 ejes con un máximo de carga de hasta 44 toneladas por línea. Otra de sus características reseñables se representa en la Figura 12, tienen la capacidad de girar sus ruedas 360 grados y su altura se puede ajustar 60 cm mediante un el sistema hidráulico que poseen. A pesar de todas las posibilidades que los SPMTs ofrecen, solo se usan en el transporte de distancias cortas.

En este proyecto se usarán en la carga y descarga de módulos de las barcasas o el Roll Biscay, que al llegar al *jetty* se ejecutará un desembarco RO-RO.

Figura 11. Posiciones que pueden adquirir

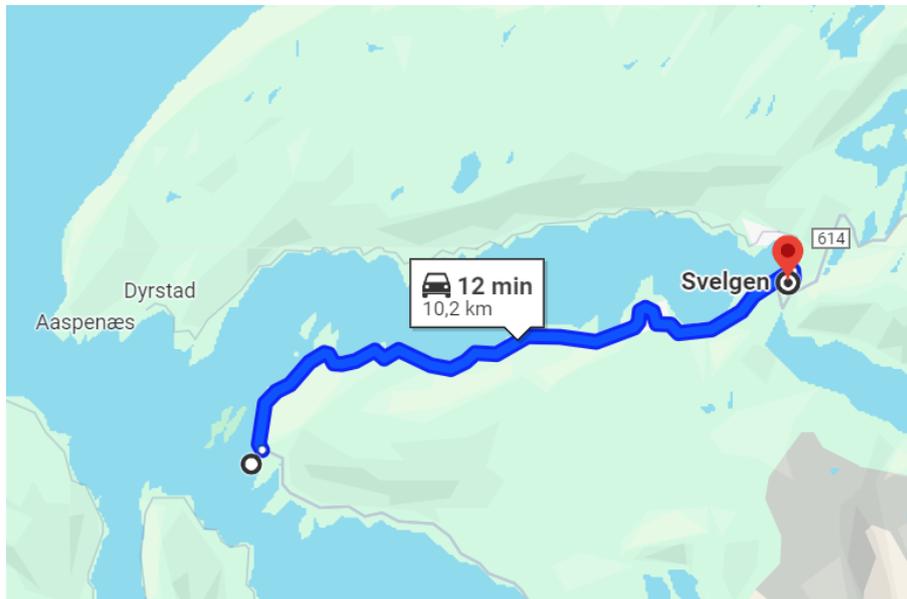


Nota. Adaptado de "Self-Propelled Modular Transporter (SPMT)," por Mammoet (<https://www.mammoet.com/equipment/transport/self-propelled-modular-transporter/spmt/>).

La carretera que conduce directamente al proyecto es la carretera nacional fv.614, separando la ubicación a una distancia de 50 km de Florø y 10 km de Svelgen, Figura 12.

Es una carretera que tiene varias restricciones en cuanto a medidas debido a que se encuentra entre montañas.

Figura 12. Ruta desde el Svelgen



Nota. Adaptado de Google Maps. (2024). *Google Maps* (<https://www.google.com/maps>).

Es la única vía de llegada hasta la ubicación por transporte terrestre, tanto desde Svelgen como desde Florø. Es una carretera con una pendiente del 10%, por lo que durante la temporada de invierno a menudo sufre problemas de hielo en la superficie. La carretera es estrecha, sinuosa y tiene una visibilidad pobre, esto prácticamente la inhabilita para el transporte de cualquier mercancía con dimensiones no estándares. Se estima que su ancho varía entre 4,2 y 8,4 metros, y la velocidad señalizada generalmente es de 80 km/h.

Partes de la carretera atraviesan terrenos propensos a deslizamientos de rocas y avalanchas, siendo las avalanchas el tipo dominante. El tramo desde el túnel de Magnhildskar hasta Myklebust está registrado como una zona propensa a avalanchas en el registro de áreas de avalanchas de la Administración de Carreteras Públicas de Noruega. Se han implementado medidas parciales de mitigación en esta área, incluyendo el establecimiento de un teleférico para el control preventivo de avalanchas.

El equipo de gran tamaño no puede ser transportado por la carretera debido a que se reduce a un solo carril en algunos puntos y está limitado por la vegetación y las colinas de las montañas, se puede apreciar en la Figura 13.

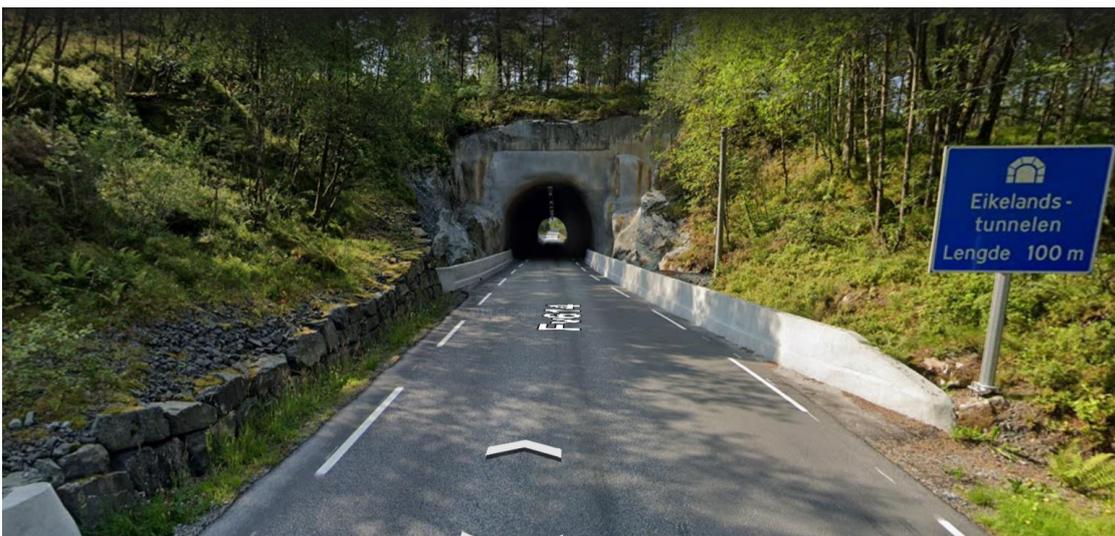
Figura 13. Márgenes de la carretera hasta el site



Nota. Adaptado de Google Maps. (2024). *Google Maps* (<https://www.google.com/maps>).

A su vez, cuenta con túneles que limitan la altura del transporte, aunque no son muy largos, por ejemplo, el Túnel de Eikeland en dirección a Svelgen, o el Túnel de Magnhildskar en dirección a Florø. El túnel de Eikeland es un túnel de 100 metros de largo ubicado a 3 km al oeste de Svelgen. El túnel con una restricción de altura de 4,5 metros y un ancho de carretera de 3,3 metros tiene solo un carril para tráfico en ambos sentidos, aunque la carretera y el túnel son rectos con una visibilidad clara y con carriles de cruce cortos en ambos extremos del túnel. Tiene un revestimiento de hormigón proyectado y está debidamente iluminado.

Figura 14. Túnel de Eikeland



Nota. Adaptado de Google Maps. (2024). *Google Maps* (<https://www.google.com/maps>).

Por otro lado, el túnel de Magnhildskar tiene una longitud de 2.895 metros, con un ancho de carretera de 5,8 metros y una restricción de altura es de 4 metros. El túnel

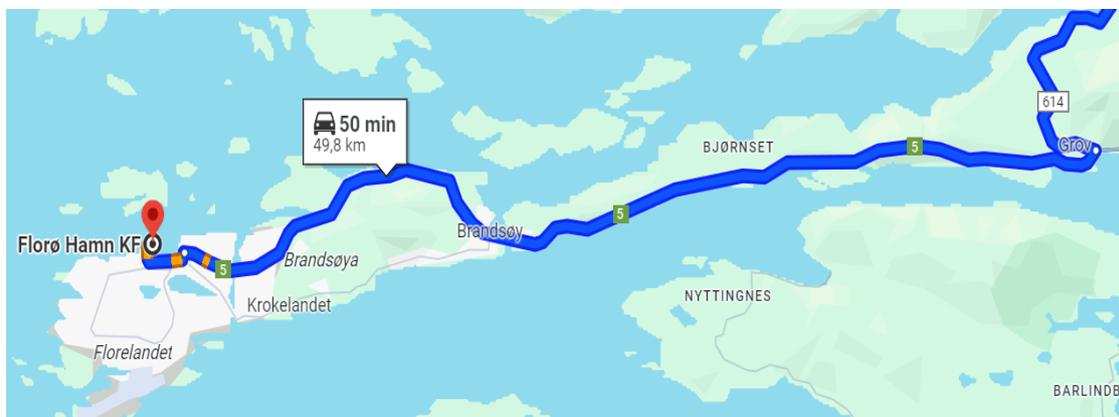
asciende un 5% desde Svelgen hacia Florø y está ubicado en la cima de Myklebust con ascensos largos y acusados suponiendo un riesgo en vehículos pesados. El tramo fuera del túnel hacia Svelgen está expuesto a avalanchas y está asociado a períodos de cierre por este motivo. Este túnel está equipado con iluminación, estaciones de emergencia, carriles de parada de emergencia y ventilación.

Se planea actualizar el túnel de acuerdo con las regulaciones de seguridad actuales, este proyecto está en la fase de planificación con el objetivo de licitar contratos. Según la información disponible actual, el túnel se ampliará para lograr una restricción de altura de 4.1 o 4.2 metros y un ancho de carril de 3 metros. El trabajo principal se llevará a cabo durante la noche para minimizar las molestias al tráfico. Sin embargo, también puede haber posibilidad de tráfico en convoy o tráfico unidireccional regulado por señales durante ciertos períodos de construcción. El cronograma y el plan de ejecución, así como el alcance completo de la actualización del túnel, aún no se han detallado.

En cuanto a la carretera nacional 5, se involucra en un tramo entre Florø y el destino final (Figura 15), hasta Grov, donde se une a la Carretera 614. La ruta tiene una longitud de 18 km. se extiende desde Lærdal en el este hasta Florø en el oeste. El ancho de la carretera varía entre 6,4 y 9,4 metros y el tráfico diario promedio anual fuera del centro de la ciudad de Florø es de 2620 vehículos, de los cuales el 15% son vehículos pesados (2022). La velocidad señalizada es generalmente de 80 km/h, pero en las áreas más densamente pobladas de Florø, la velocidad señalizada se reduce a 60 km/h.

Como ruta nacional, tiene una clase de mantenimiento invernal más estricta para mantenerla descubierta (seca o húmeda). La sal se utiliza como medida preventiva y para mantener y restaurar condiciones de carretera buenas condiciones frente a la nieve dura y el hielo que pueden acumularse.

Figura 15. Ruta desde el puerto de Florø hasta el *site*.



Nota. Adaptado de Google Maps. (2024). *Google Maps* (<https://www.google.com/maps>).

Como conclusión, se puede afirmar que las carreteras que se van a ver involucradas en el transporte terrestre son la carretera nacional 614 y la carretera nacional 5, contando estas con limitaciones en cuanto a túneles se refieren durante el recorrido, lo que imposibilita el traslado de los módulos a través de ellas.

3.4. Aduanas

Para cumplir con las regulaciones nacionales y no tener problemas con la entrada de los equipos en el país existen ciertos requisitos para las formalidades de importación, los cuales debe asegurarse su cumplimiento.

El sistema de despacho de aduanas en Noruega se basa en el principio de declaración personal. Es decir, el importador deberá declarar los bienes a las autoridades aduaneras, ya sea a través de declaración electrónica (EDI) o completando el Documento Único Administrativo (SAD, por sus siglas en inglés). Las autoridades aduaneras tienen la autoridad para decidir qué mercancías desean inspeccionar y la inspección puede limitarse a los documentos que acompañan a las mercancías o puede extenderse a las propias mercancías.

Las autoridades aduaneras noruegas han desarrollado unos manuales específicos detallando los requisitos para importar o exportar bienes del país. Estos manuales se pueden encontrar en el sitio web www.toll.no.

En lo que respecta a la importación dentro de las fronteras de Noruega, la documentación requerida generalmente incluye el conocimiento de embarque o el conocimiento aéreo junto con la factura comercial. El certificado de origen no es necesario a menos que se especifique lo contrario.

En general, un agente de transporte y un agente de aduanas pueden actuar en nombre de otros. El agente declara electrónicamente los bienes enviando información al sistema de despacho de aduanas de la Aduana Noruega. La comunicación entre el agente y la aduana es puramente electrónica, y cualquier interacción en persona solo ocurrirá si es requerida por la aduana. El individuo responsable del despacho de importación debe asegurarse de que se lleve a cabo de acuerdo con las regulaciones.

3.4.1. Acuerdos comerciales

Noruega es parte de una gran cantidad de organizaciones internacionales, incluyendo prominentes como la OSCE, el Consejo de Europa, el Consejo Ártico, la OCDE, la ESA, el CICR, el FMI, los Bancos de Desarrollo Asiático y Africano, la ONU, así como diversas agencias y programas europeos de tecnología e investigación.

Actualmente, existen acuerdos de libre comercio vigentes con Hong Kong, Indonesia, Corea del Sur, Filipinas y Singapur. Además, se están llevando a cabo negociaciones para acuerdos con India, Malasia, Tailandia y Vietnam. Finalmente, las discusiones están en curso para un acuerdo con MERCOSUR, el bloque económico sudamericano.

El 8 de julio de 2021, Noruega, Islandia y Liechtenstein firmaron el acuerdo de libre comercio EEE EFTA-Reino Unido con el Reino Unido. Este acuerdo cubre todo el espectro del comercio, incluyendo bienes, servicios, inversiones, movimientos de capital, contratación pública, propiedad intelectual, competencia, subsidios, mejores prácticas regulatorias, reconocimiento de cualificaciones comerciales y desarrollo sostenible. Además, este acuerdo aborda temas legales, incluyendo la resolución de disputas.

3.4.2. Impuestos y aduanas

Existen tres tipos de impuestos que se pueden pagar dentro de un proceso de importación:

- IVA (Impuesto sobre el Valor Añadido). El gobierno noruego establece la tasa de IVA cada año. Actualmente, el IVA es del 25 por ciento, con excepciones que serán del 15 por ciento.

Cualquier impuesto especial que deba pagarse para el despacho de aduanas también se incluye en el cálculo del IVA.

- Aranceles. La lista de tipos de aranceles, aranceles de exportación aplicables, preferencias, tarifas estacionales y restricciones se puede encontrar en el siguiente enlace: <https://tollltariffen.toll.no/tollltariff?language=en>
- Impuestos especiales. Se deben pagar impuestos especiales sobre ciertos productos. El gobierno noruego establece las tasas cada año y los tipos de impuestos especiales y la forma en que se calculan varían. Si se deben pagar impuestos especiales sobre los bienes que está importando es necesario familiarizarse con las regulaciones para este impuesto especial.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de fin de máster, se ha abordado el tema de la logística de equipos pesados y sobremensionados dentro del ámbito de los proyectos EPC. El transporte de cargas pesadas en proyectos EPC es fundamental para el éxito de estos proyectos, ya que implica la coordinación precisa de múltiples actores, la utilización de equipos especializados y la superación de numerosas barreras logísticas. Las conclusiones de este trabajo destacan cómo una planificación detallada, la innovación tecnológica y la

gestión de riesgos efectiva son esenciales para llevar a cabo estas operaciones de manera segura y eficiente. Por tanto, el presente estudio se ha centrado en identificar los desafíos, estrategias, medios y mejores prácticas asociadas con la movilización de equipos y estructuras de gran tamaño y peso.

A lo largo del desarrollo de esta investigación, se han planteado y respondido diversas preguntas de investigación, se han analizado múltiples variables y se ha aplicado la metodología de método del caso para alcanzar el objetivo inicial a través de él: elaborar un marco conceptual y empírico para poder entender los problemas que se plantean cuando surge la necesidad de transportar un equipo pesado o sobredimensionado, identificando y analizando los retos de la situación específica y desarrollando soluciones óptimas para abordarlos.

P.I.1. Identificación de problemas específicos para este tipo de transportes. ¿Cómo impactan las restricciones de infraestructura (puentes, túneles, carreteras) en el transporte de cargas sobredimensionadas? ¿Qué se requiere para asegurar el cumplimiento normativo de cada área geográfica concreta?

P.I. 2. Desarrollo de soluciones óptimas. ¿Cuáles son las mejores prácticas para minimizar riesgos y costos en el transporte de equipos sobredimensionados?

En lo que se refiere la identificación de los problemas específicos durante el transporte, el marco teórico de este trabajo ha estado más enfocado a resolverlo y se han proporcionado las pautas a seguir para su correcta identificación. Además, se han comentado casos de éxito en los que se han manejado las alternativas ofrecidas permitiendo el movimiento de las mercancías hasta los sitios requeridos.

En materia del desarrollo de soluciones óptimas, las pautas proporcionadas en el marco teórico se han llevado a la práctica en la operativa del caso práctico y se ha expuesto un caso de transporte real en el que se han reflejado las alternativas y opciones disponibles, así como las razones de las elecciones tomadas. Durante la presentación del caso práctico se han obtenido como resultado las siguientes conclusiones:

Los problemas que se identifican en el acceso a *Dryrholene* vienen derivados de que se trata de un proyecto *greenfield*, con unas infraestructuras en línea con este tipo de accesos inexplorados. Al no tratarse de una zona industrializada, en esta área concreta no se han realizado este tipo de transportes ni está correctamente preparada para ello.

Como respuesta a la identificación de contingencias que se plantean durante el transporte se corresponde la determinación de los puntos críticos en los accesos ya existentes, es decir, en este caso existen curvas cerradas propias de la montaña y tan características en el paisaje de los fiordos. También el estrechamiento de carreteras que

se ha mostrado en el caso, supuesto en ocasiones por los túneles que son grandes limitantes a la hora de la movilidad y los arcenes acotados hacen que se determine inviable el transporte a través de las dos vías disponibles, carretera nacional 5 y carretera nacional 614.

En cuanto al análisis de las alternativas disponibles, tras definir cuáles son se han verificado sus características y se ha determinado si son compatibles o no para el transporte de los equipos pesados y la carga sobredimensionada. Como se ha mencionado en el párrafo anterior, las carreteras quedan descartadas, esto se comprueba tras el análisis de los puertos cercanos que hay. El puerto de Svelgen se trata de un puerto más limitado que usualmente se usa como puerto pesquero, de carga general y contenedores, mientras el puerto de Floro estaría notablemente capacitado para la recepción de grandes cargas.

Sin embargo, resultaría imposible llegar desde este al *site* vía terrestre. En él podría plantearse realizar un *double halding*, con un traspaso a barcaza, pero no es el método más óptimo al no ser un puerto que normalmente forme parte de las rutas convencionales y llegar hasta allí con un buque de mayor envergadura incrementaría mucho los costes. En estos dos puertos se realizará la recepción de equipos menos críticos, aunque también pueden formar parte del grupo determinado como *HL* y *ODC* y una vez allí trasladarlo mediante camiones específicos.

El *beach landing* se comprueba como método, pero al no haber ningún terreno cercano que lo favorezca y con las dificultades que este mar supone se descarta.

Tras comprobar todo lo anterior y, tras un análisis de los posibles factores que suponen puntos críticos, se ha determinado que existen numerosas barreras que han generado el descarte de las diferentes opciones que se pueden valorar en un principio se toma la alternativa de crear un nuevo acceso ya que tras un exhaustivo análisis se concluye que no es posible encontrar una solución a través de la mejora de alguna vía ya creada, lo que respondería a la elección de la ruta óptima. Finalmente se determina que la única opción viable para el traslado de los equipos más críticos como puede ser el caso de generadores, a causa de sus toneladas, o de los módulos, por el volumen principalmente, es transportar los equipos a través de un *jetty*.

Este *jetty* deberá diseñarse de modo que permita el acceso de diferentes embarcaciones que puedan descargar en la obra directamente. La descarga puede ser RO-RO tras realizar un atraque a la mediterránea o LO-LO, para lo que se debe tener en cuenta la existencia de una grúa para poder ejecutar el izado de las piezas. Esta grúa puede estar incorporada en alguno de los barcos que se han expuesto o, de lo contrario,

instalarla en el muelle que se construya. Para llegar hasta allí hay varias opciones, teniendo en cuenta el calado se puede recibir un buque directamente que cargue *Heavy Lift* si se consiguen la suficiente cantidad para que salga rentable el flete de la embarcación. Esto es una opción para casos en los que los orígenes no estén próximos, otra de las opciones es que se desplace el material hasta un puerto comercial más cercano y una vez allí, se mueva a una barcaza, ya sea autopropulsada como Roll Biscay o remolcada con la capacidad necesaria.

Siguiendo la experiencia personal, la tendencia general en el campo de las empresas de *EPC* es la construcción de los equipos ya ensamblados para su instalación final en la obra por lo que cada vez es más frecuente tener que plantear este tipo de casuísticas, explorando el entorno en el que se van a establecer los proyectos y determinando las mejores maneras de ejecutarlos. Esto se hace más notable en países en los que la mano de obra, tanto cualificada como no cualificada, supone un coste superior. En Noruega el desembolso que supondrían las horas de construcción es notablemente mayor que la ejecución de estos equipos en Asia, compensando incluso su desplazamiento desde estos lejanos orígenes.

Este TFM trata de proporcionar una visión global de lo que puede suponer un proyecto en una ubicación remota con carga que presenta restricciones en sus movimientos. Sin embargo, se trata de las limitaciones específicas de un estudio sobre la industria del *EPC*, comentando sobre este género de equipos. A su vez, existe cierta limitación a la hora de utilizar la información disponible a causa de la confidencialidad que se posee, ya que el know-how es lo más valioso que muchas empresas poseen y compartirlo supondría dar ventajas a los competidores del sector.

Otro aspecto que considerar es que se ha explicado, aunque desde una visión más general, un caso concreto y se han expuesto unas soluciones concretas. Lo que supone que para cada situación debe desarrollarse un plan de examen personalizado.

Para concluir, este trabajo proporciona una visión global de los desafíos y soluciones en proyectos ubicados en entornos remotos con restricciones de movimiento de carga. Sin embargo, cada situación requiere un plan de examen personalizado debido a las limitaciones específicas y la confidencialidad de la información utilizada. Además, la tendencia en la industria *EPC* hacia la construcción de equipos ensamblados para su instalación final resalta la importancia de seguir explorando y optimizando las estrategias logísticas para mejorar la eficiencia y reducir costos en futuros proyectos. La investigación realizada ha permitido identificar los principales retos y proponer soluciones prácticas y



eficientes para el transporte de equipos pesados y sobredimensionados en proyectos EPC, contribuyendo al avance del conocimiento y la práctica en este campo especializado.

5. Bibliografía

3DfindIT. (2 de abril de 2024). ¿Qué es el campo verde y qué es el campo marrón en la planificación? <https://www.3dfindit.com/es/engclopedia/que-es-el-campo-verde-y-que-es-el-campo-marron-en-la-planificacion>

ABC Sociedad. (10 de agosto de 2021). Calor: trabajar con temperaturas extremas, regulación en otros países. ABC. https://www.abc.es/sociedad/abci-calor-trabajar-temperaturas-extremas-regulacion-otros-paises-202108101319_noticia.html

Across Logistics. (23 de septiembre de 2022). Transporte marítimo: tipos y características. <https://acrosslogistics.com/blog/transporte-maritimo-tipos-y-caracteristicas>

Alcaldía Mayor de Bogotá. (s.f.). Información de la restricción a la circulación de vehículos de carga. <https://bogota.gov.co/servicios/guia-de-tramites-y-servicios/informacion-de-la-restriccion-la-circulacion-de-vehiculos-de-carga-sdm-37129#:~:text=A%20Los%20veh%C3%ADculos%20de%20servicio,la%20restricci%C3%B3n%20por%20generaci%C3%B3n%20vehicular.>

APAM Perú. (26 de diciembre de 2021). El puerto de Rotterdam presenta la tecnología blockchain Quay Connect. <https://apam-peru.com/el-puerto-de-rotterdam-presenta-la-tecnologia-blockchain-quay-connect/>

Arecoa. (8 de agosto de 2023). Abinader: El Puerto de Manzanillo es el despegue del desarrollo turístico del Noroeste. <https://www.arecoa.com/destinos/2023/08/08/abinader-el-puerto-de-manzanillo-es-el-despegue-del-desarrollo-turistico-del-noroeste/>

Atwell, LLC. (s.f.). Atwell. <https://www.atwell-group.com/>

Autotransporte TV. (9 de noviembre de 2023). Cómo funcionan los buques de carga pesada. <https://autotransportetv.com.ar/como-funcionan-los-buques-de-carga-pesada/>

Banco Santander. (s.f.). ¿Qué son los incoterms? [https://www.bancosantander.es/glosario/incoterms#:~:text=Los%20Incoterms%20\(abreviatura%20de%20International,hora%20de%20entregar%20las%20mercanc%C3%ADas.](https://www.bancosantander.es/glosario/incoterms#:~:text=Los%20Incoterms%20(abreviatura%20de%20International,hora%20de%20entregar%20las%20mercanc%C3%ADas.)

Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G., & Woetzel, J. (2019). Modular construction: From projects to products. McKinsey & Company: Capital Projects & Infrastructure, 1, 1-34.

Cingari, P. (24 de enero de 2024). Riesgo de inflación: los ataques al Mar Rojo disparan los costes del transporte marítimo. Euronews. <https://es.euronews.com/business/2024/01/24/riesgo-de-inflacion-los-ataques-al-mar-rojo-disparan-los-costes-del-transporte-maritimo>



Cogut, M. (20 de julio 2023). El tren y el ISO contenedor. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/el-tren-y-iso-contenedor-milton-cogut/>

Conceptum Logistics. (s.f.). Beach landing in the Peruvian jungle <https://www.conceptum-logistics.com/en/portfolio-item/beach-landing-in-the-peruvian-jungle/>

Copnall, B. (1971). MOVING HEAVY WEIGHTS. , 19-34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-015577-7.50009-6>.

DSV. (s.f.). DSV. <https://www.dsv.com/es-es/>

DSV. (s.f.). Tipos de contenedor marítimo. <https://www.dsv.com/es-es/nuestras-soluciones/modos-de-transporte/transporte-maritimo/tipos-contenedor-maritimo>

El Día. (21 de enero de 2024). Muelle de Manzanillo recibe primeros equipos para una planta eléctrica de 414 MW. El Día. <https://eldia.com.do/muelle-de-manzanillo-recibe-primeros-equipos-para-una-planta-electrica-de-414-mw/>

Google. (2024). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps>

Google. (2024). *Google Earth*. <https://earth.google.com>

Green Iberica. (25 de julio de 2018). Evergreen new ULCV are already arriving. Green Iberica. <https://greeniberica.pt/en/evergreen-new-ulcv-are-already-arriving/>

Heavy Lift News. (8 de marzo de 2021). New MAX510 3-axle lowbed trailer delivered to Huffermann Krandienst GmbH. Heavy Lift News. <https://www.heavyliftnews.com/new-max510-3-axle-lowbed-trailer-delivered-to-huffermann-krandienst-gmbh/>

Hernández Barrueco, L. C. (2016). Técnicas para innovar y gestionar proyectos en logística. Marge Books.

Holm, E., Ludescher, H., & Landbø, T. (2008). MPU Heavy Lifter – A lightweight concrete vessel for heavy offshore lifting operations. , 192-192. <https://doi.org/10.1201/9781439828410.CH148>.

Ibertransit. (30 de septiembre de 2022). Modelos de aviones de transporte aéreo de mercancías. <https://ibertransit.com/modelos-aviones-transporte-aereo-mercancias/>

IFSSAC. (s.f.). Los secretos detrás de los buques de carga pesada: una mirada interna. <https://www.ifssac.com/blog/los-secretos-detras-de-los-buques-de-carga-pesada-una-mirada-interna/>



Instituto Mexicano del Transporte. (2015). Determinación del estado de corrosión y capacidad de carga de los muelles del puerto de Guaymas. Secretaría de Comunicaciones y Transportes <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt336.pdf>

JCV Shipping. (10 de enero de 2024). La situación en el Mar Rojo. https://jcvshipping.com/la_situacion_en_el_mar_rojo/

Jumbo Maritime. (s.f.). Jumbo Maritime. <https://www.jumbomaritime.nl/>

KM Surveying. (s.f.). Route Survey. <http://www.kmsurveying.com/route-survey/>

KRC. (s.f.). KRC. <https://krc.co.ke/>

León, A., & Romero, R. (2003). Logística del transporte marítimo. Marge Books.

Mammoet. (s.f.). Beach landing: One of the UK's largest ever art installations. Mammoet. <https://www.mammoet.com/cases/beach-landing-one-of-the-uks-largest-ever-art-installations/>

Mammoet. (s.f.). Self-propelled modular transporter (SPMT). <https://www.mammoet.com/equipment/transport/self-propelled-modular-transporter/spmt/>

Mammoet. (s.f.). *World's largest PDH plant construction project streamlined.* <https://www.mammoet.com/cases/worlds-largest-pdh-plant-construction-project-streamlined/>

Mammoet. (s.f.). Wind turbines installed at Neoen's Kaban Green Power Hub. Mammoet. <https://www.mammoet.com/cases/wind-turbines-installed-at-neoens-kaban-green-power-hub/>

MDOT. <https://mdot.ms.gov/ports/index.html>

Mira, J., Soler, D. (2024). Manual del transporte de mercancías. España: Marge Books.

Mississippi Department of Transportation. (s.f.). Ports - <https://mdot.ms.gov/ports/index.html>

Mondragón, V. (Marzo de 2023). Cómo funcionan los buques de carga. Diario del Exportador. <https://www.diariodelexportador.com/2023/03/como-funcionan-los-buques-de-carga.html>

Multiple Heavy Lift Planning in Industrial Construction. 349-358. [https://doi.org/10.1061/41109\(373\)35](https://doi.org/10.1061/41109(373)35).

MundoMaritimo. (28 de septiembre de 2020). Star Bulk Carrier: Las alarmas que enciende la opción del leaseback. <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/star-bulk-carrier-las-alarmas-que-enciende-la-opcion-del-leaseback>



- Nikolaevna, P., & Anatolievna, F. (2023). TECHNICAL RISK FACTORS IN THE TRANSPORTATION OF OVERSIZE AND HEAVY CARGO. *World of transport and technological machines*. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-2\(80\)-1-104-110](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-104-110).
- Truyols Mateu, S. (2014). *Economía, ingeniería y logística portuaria : teoría y práctica* (6a edición.). Delta.
- Norwegian Customs. (s.f.). Welcome to Norwegian Customs. Norwegian Customs. <https://www.toll.no>
- Norwegian Public Roads Administration. (s.f.). Norwegian Public Roads Administration. <https://www.vegvesen.no/>
- Noticias SIN. (21 de enero de 2024). Nuevo muelle del puerto de Manzanillo recibe los primeros tres barcos. Noticias SIN. <https://noticiassin.com/nuevo-muelle-del-puerto-de-manzanillo-recibe-los-primeros-tres-barcos-1571780/>
- Olivera, A. J. (12 de septiembre de 2017). 7 buques semisumergibles para grandes cargas.
- Wärtsilä. (s.f.). Heavy lift ships. <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/heavy-lift-ships>
- Pachpore, S., Botre, M., Patil, A., & Jadhav, P. (2019). Development and Validation of Transportation Methodology by Predicting Dynamic Behavior of Container for Safe Transportation. *Techno-Societal 2018*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16848-3_86.
- Petraška, E. (2018). La planificación del transporte de equipos pesados y voluminosos: estudios de ruta, permisos, y coordinación con autoridades. *Revista de Logística y Transporte*, 23(4), 567-589.
- Prosegur. (s.f.). Transporte multimodal: qué es y en qué se diferencia del transporte intermodal. <https://www.prosegur.es/blog/efectivo/transporte-multimodal>
- Roll Group. (s.f.). *BigRoll Biscay*. Roll Group. <https://www.roll-group.com/fleet/bigroll-biscay/>
- Rota Trailer. (s.f.). Lowbed trailer. <https://rotatrailer.com/7/lowbed-trailer>
- SAM. (s.f.). SAM. <https://www.sam.biz/>
- Seacargo. (18 de abril de 2022). Puertos Marítimos para el Transporte de Mercancías <https://seacargo.com/puertos-maritimos-transporte-mercancias/#:~:text=Puertos%20comerciales.,operar%20el%20tr%C3%A1fico%20comercial%20internacional>.



Sector Marítimo. (22 de julio de 2023). Los diez ríos navegables más largos del mundo. <https://sectormaritimo.es/los-diez-rios-navegables-mas-largos-del-mundo>

Shipnext. (s.f.). Port details for: Floro (Nofro, Nor). <https://shipnext.com/port/floro-nofro-nor>

Shipnext. (s.f.). *Svelgen (Norway) Port Information*. Shipnext. Recuperado 20 de mayo de 2024, de <https://shipnext.com/port/5829d5f65baa9509b886ed6b>

Silvera Escudero, R. E. (2020). *Gestión logística internacional* (1st ed.). Ecoe Ediciones.

Splash247. (16 de abril de 2021). Jumbo Shipping and SAL Heavy Lift alliance kicks off. <https://splash247.com/jumbo-shipping-and-sal-heavy-lift-alliance-kicks-off/>

Suiscagroup. (s.f.). Tipos de buques según la carga que transportan. <https://www.suiscagroup.com/es/noticias/tipos-de-buques-segun-la-carga-que-transportan/#:~:text=Granelero%20o%20bulkcarrier&text=Suma%20el%209%20%25%20de%20la,de%2045%20a%2050%20pies>.

Taghaddos, H., Abourizk, S., Mohamed, Y., & Hermann, U. (2010). *Simulation-Based*

UK P&I Club. (30 de marzo de 2025). Project lifts C to C. UK P&I Club. https://www.ukpandi.com/media/files/imports/13108/bulletins/21856-project_lifts_c_to_c_30_march_2015.pdf

Vadebarcos. <https://vadebarcos.net/2017/09/12/7-buques-semisumergibles-para-grandes-cargas/>

Vasilyeva, E. (2019). Improvement of the weight-and-dimensional control within the environmentally friendly transport system development. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/201911002165>.

VesselFinder. (s.f.). Vessel details for: 9351933. <https://www.vesselfinder.com/es/vessels/details/9351933>

Viatres Ingenieros. (s.f.). Road Survey. <https://www.viatresingenieros.es/road-survey/#:~:text=Distancia%20entre%20origen%20y%20destino,carretera%20actuales%20y%20futuras%2C%20etc>.

Vidriková, D. (2014). Protection of critical infrastructure as a part of safety system of transportation in Slovakia. *Transport Problems*. Disponible en Vidriková, 2014.

VL Maritime. (2012). *400ft Heavy Lift Barge*. VL Maritime. <https://www.vlmaritime.com/es/product/g0050-400ft-heavy-lift-barge/>



Wärtsilä. (s.f.). Dockwise Vanguard.

<https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/dockwise-vanguard>

Zeke Quezada, A. (2024). Mediterranean Mooring: What Is It and Why? American Sailing

[[https://asa.com/news/2024/01/mediterranean-mooring-what-is-it-and-](https://asa.com/news/2024/01/mediterranean-mooring-what-is-it-and-why/)

[why/](https://asa.com/news/2024/01/mediterranean-mooring-what-is-it-and-why/)](<https://asa.com/news/2024/01/mediterranean-mooring-what-is-it-and-why/>)

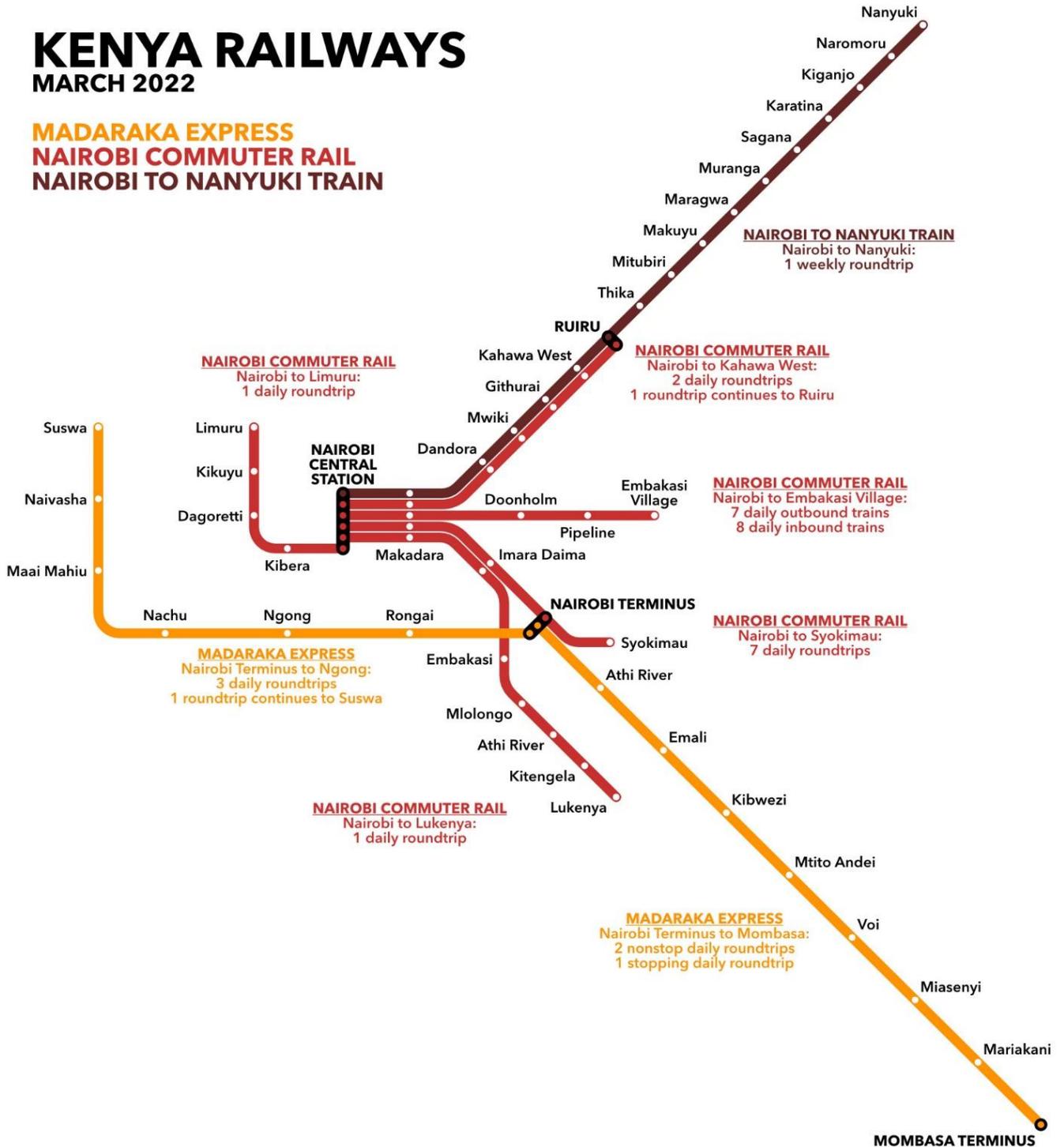


ANEXO I. Red de ferrocarril de Kenia.

KENYA RAILWAYS

MARCH 2022

MADARAKA EXPRESS NAIROBI COMMUTER RAIL NAIROBI TO NANYUKI TRAIN



Nota. Adaptado de " Kenya Railways" por Kenya Railways Corporation (2022)(<https://krc.co.ke/>).