

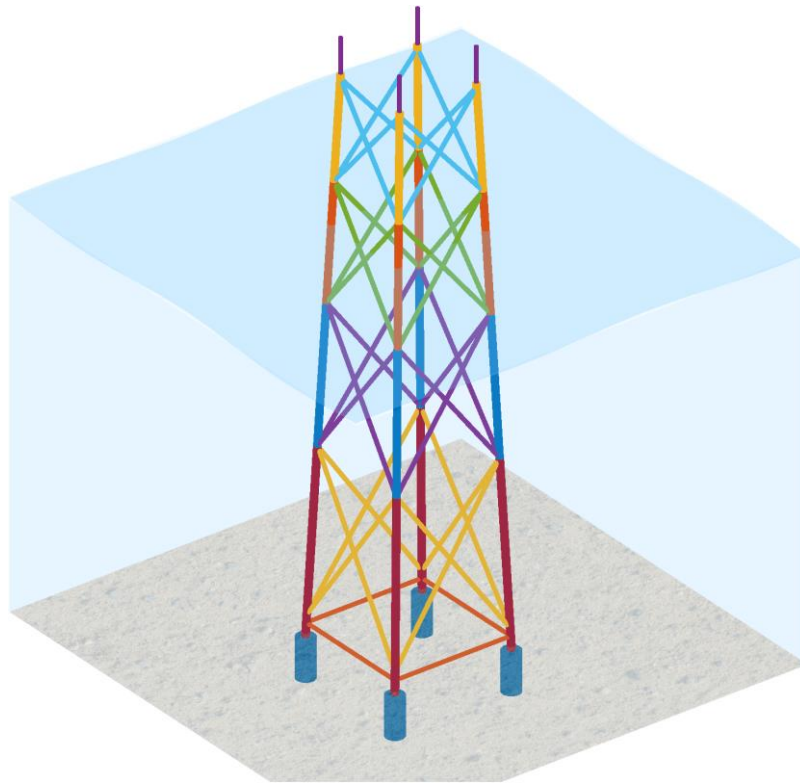
# ANÁLISIS Y DISEÑO DE SUBESTRUCTURA TIPO JACKET PARA EL AEROGENERADOR MARINO NREL 5MW

TRABAJO DE FINAL DE GRADO



**ULPGC**  
Universidad de  
Las Palmas de  
Gran Canaria

**eiiic**  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES Y CIVILES



**Autor:** Saulo Manuel Román Cabrera

**Tutores:** Luis Alberto Padrón Hernández y Carlos Romero Sánchez

**Grado en Ingeniería Mecánica (GIM)**

**Curso 2024/2025**

# Agradecimientos

Antes de empezar, quiero dedicar unas palabras de agradecimiento a todas las personas que me han acompañado durante este tiempo y que, de una forma u otra, han hecho que el camino hasta aquí haya sido mucho más fácil.

En primer lugar, gracias a mis tutores Luis Alberto Padrón Hernández y Carlos Romero Sánchez, por su tiempo, su paciencia y por orientarme cuando yo no sabía ni por dónde empezar. También quiero expresar mi agradecimiento a toda la División de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras del IUSIANI por su acogida durante esta etapa y por ayudarme muchas veces de manera indirecta.

Y, sobre todo, gracias a mi familia y a mi pareja, por estar siempre a mi lado animándome cuando las cosas no salían bien, por respetar mis momentos de introspección y por recordarme, al final del día que, todo esfuerzo tiene su recompensa. Todo forma parte del camino y nunca es tiempo perdido.

A todos los mencionados, gracias por ayudarme y por su apoyo incondicional.

Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación PID2023-151635OB-I00, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y Universidades y la Agencia Estatal de Investigación de España (MCIU /AEI /10.13039/501100011033) y FEDER/EU.



# Resumen

En los últimos años, la energía eólica marina (offshore) se ha consolidado como una alternativa de fuente de energía sostenible con un gran potencial de desarrollo. Este crecimiento exponencial ha impulsado el diseño y desarrollo de soluciones estructurales capaces de adaptarse a entornos marinos cada vez más exigentes, donde las intensas condiciones de carga, junto con el aumento de tamaño y potencia de las turbinas, generan grandes desafíos en términos de resistencia y durabilidad. En este contexto, se vuelve imprescindible el estudio detallado de este tipo de estructura, cuya función principal es garantizar la operabilidad de funcionamiento de los aerogeneradores.

No obstante, a pesar de sus numerosas ventajas, la energía eólica marina también presenta complejidades significativas. Entre las principales dificultades se encuentran los elevados costes asociados a la instalación, operación y mantenimiento de los aerogeneradores, que superan considerablemente a los de los proyectos terrestres (onshore). Esto se debe, en gran medida, a la necesidad de utilizar embarcaciones y equipos especializados, adaptados a las condiciones marítimas. Además, la exposición continua a ambientes altamente corrosivos acelera el deterioro de los materiales, lo que obliga a llevar a cabo programas más rigurosos de mantenimiento preventivo y correctivo.

Por otro lado, la presencia de aerogeneradores en el medio marino no está exenta de problemática. Durante las fase de construcción y operación, el aerogenerador puede interferir en el equilibrio de los ecosistemas marinos, alterar rutas migratorias de especies protegidas o entrar en conflicto con actividades económicas como la pesca. Ante esta realidad, numerosos países han establecido marcos regulatorios estrictos que exigen la evaluación previa y continua de los posibles impactos ambientales, así como la aplicación de medidas de mitigación desde la fase de planificación hasta el desmantelamiento de los parques. El continuo avance tecnológico, junto con la experiencia acumulada en el sector, está permitiendo minimizar de forma progresiva muchos de los desafíos previamente mencionados.

Numerosos estudios enfocados en el análisis y optimización de estructuras offshore se han basado tradicionalmente en modelos desacoplados, en los cuales la subestructura se analiza de manera independiente respecto a la turbina. Numerosas publicaciones al respecto han demostrado que este tipo de enfoque puede llevar a estimaciones poco precisas de desplazamientos, tensiones y daños por fatiga. Por el contrario, los modelos acoplados, con interacción dinámica entre la turbina y la subestructura, ofrecen una representación más realista del comportamiento estructural bajo condiciones de operación, lo que permite obtener resultados más fiables para efectuar el diseño final.

## Aerogeneradores

Un aerogenerador es una máquina de grandes dimensiones diseñada para transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica. En la mayoría de los casos, se trata de turbinas de eje horizontal, que pueden instalarse tanto sobre estructuras fijas, como sobre estructuras flotantes en el caso de la eólica marina. Estas se clasifican según diferentes criterios, entre los que se incluyen el número de palas, la velocidad de giro del rotor y el tipo de sistema de control, entre estos aspectos.

En este sentido, es importante destacar tres velocidades características: la velocidad de corte inferior, que representa el umbral mínimo de viento necesario para que el aerogenerador comience a generar electricidad (habitualmente entre 3 y 4 m/s); la velocidad nominal, que corresponde a aquella en la que la turbina alcanza su potencia máxima; y la velocidad de corte superior, que suele situarse en torno a los 25 m/s y a partir de la cual la turbina se detiene automáticamente por motivos de seguridad. Estas velocidades determinan en gran medida su comportamiento.

Para hacer frente a condiciones meteorológicas adversas, como vientos excesivamente intensos, los aerogeneradores incorporan sistemas de control en las palas, generalmente accionadas mediante actuadores hidráulicos. Estos actuadores permiten modificar su orientación hasta alcanzar un ángulo aproximadamente de  $90^\circ$  respecto a la dirección del flujo del aire, reduciendo así la carga aerodinámica y permitiendo la detención del rotor en un corto periodo de tiempo.

El principio de funcionamiento de los aerogeneradores se fundamenta en la aerodinámica, de forma análoga al mecanismo que permite el vuelo de los aviones.

Este fenómeno se explica a través de la ecuación de Bernoulli, según la cual la presión en la cara inferior del perfil es mayor que en la superior, mientras que la velocidad del flujo es más elevada en la parte superior, originando la rotación del rotor.

La potencia extraíble del viento depende principalmente de tres factores: la densidad del aire, el área barrida por el rotor y la velocidad del viento. Sin embargo, no es posible aprovechar completamente esta energía. El límite de Betz determina que el máximo teórico que puede extraerse mediante una turbina es del 59,3%. Esto se debe a que una extracción total de la energía cinética del flujo detendría por completo el movimiento de la masa de aire.

## Cimentación

Tradicionalmente, la cimentación de los aerogeneradores marinos se ha basado en el uso de monopilotes, una solución estructural sencilla, económica y eficaz en aguas poco profundas. Pero, a medida que las ubicaciones seleccionadas en la eólica offshore se desplazan hacia zonas con mayores profundidades, se ha optado con mayor frecuencia por subestructuras tipo jacket, debido a su buen comportamiento estructural frente a cargas laterales, como las provocadas por el viento, el oleaje y las corrientes marinas.

Las subestructuras de este tipo están compuestas por celosías metálicas, ancladas al lecho marino por múltiples pilotes interconectados entre sí, lo que permite una distribución más eficiente de esfuerzos al terreno.

Este tipo de cimentación fija ha demostrado ser una de las más adecuadas para rangos de profundidad de lecho marino comprendidos entre los 30 y los 60 m, siendo este un intervalo en el que otras alternativas, como los monopilotes (eficaces en profundidades menores) o las plataformas flotantes (recomendadas para profundidades superiores), resultan menos eficientes estructuralmente hablando.

## Alcance

El alcance del trabajo abarca el análisis en el dominio del tiempo bajo los escenarios de carga más desfavorables y considerando la interacción conjunta entre la subestructura y la cimentación. Además, también se incluye un proceso iterativo de diseño que permita alcanzar una solución viable y que cumpla con los criterios normativos establecidos.

Por el contrario, quedan fuera del alcance de este estudio aspectos fundamentales para un proyecto completo de este tipo, como la caracterización geotécnica del emplazamiento, la definición detallada del proceso constructivo y de montaje, la evaluación económica, los estudios de impacto ambiental, los procedimientos de transporte e instalación, así como la instalación eléctrica y el diseño de otros sistemas auxiliares.

## Definición del problema de estudio

En el presente trabajo, el objetivo principal ha sido realizar el diseño estructural de una subestructura tipo jacket previamente diseñada, con el fin de adaptarla y hacerla cumplir con respecto a la normativa vigente establecida y de obligado cumplimiento.

El aerogenerador empleado en este trabajo corresponde al modelo de 5 MW ROWT desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL). Este aerogenerador ha sido ampliamente reconocido y utilizado como referencia en numerosos estudios relacionados con la energía eólica.

Entre sus características principales más destacables se encuentra el hecho de que es una turbina de eje horizontal, cuenta con un rotor de 126 metros de diámetro, compuesto por tres palas de 63 metros de longitud y la velocidad nominal de giro del rotor varía entre 6,9 y 12,1 revoluciones por minuto (rpm), dependiendo de la velocidad del viento. El aerogenerador comienza a operar a partir de una velocidad de viento de 3 m/s y alcanza su potencia nominal en el rango comprendido entre 11 y 13 m/s de velocidad de viento. La altura del buje se sitúa en 90 m sobre el nivel del suelo (parte superior de la subestructura), lo que permite una captación eficiente del recurso eólico. En cuanto a las propiedades del material empleado para su construcción se resumen en la siguiente tabla:

Por otro lado, el jacket empleado consta de un total de 112 elementos, distribuidos en distintos niveles, constituido por secciones tubulares huecas de acero estructural y unidas mediante soldadura. Entre estos grupos de sección, se incluyen las patas principales que soportan la subestructura, los pilotes que se introducen en el terreno para garantizar el anclaje al lecho marino, y los arriostramientos dispuestos a lo largo de la estructura para mejorar su rigidez y estabilidad, véase la Figura R - 1.

En cuanto a las propiedades del acero VL EW36, empleado para su construcción, cabe destacar los siguiente parámetros principales: límite elástico de 355 MPa, módulo de Young de 210 GPa y un módulo de Poisson de 0,3. Su densidad es de 7.850 kg/m<sup>3</sup> y se emplea para secciones tubulares huecas con uniones soldadas.

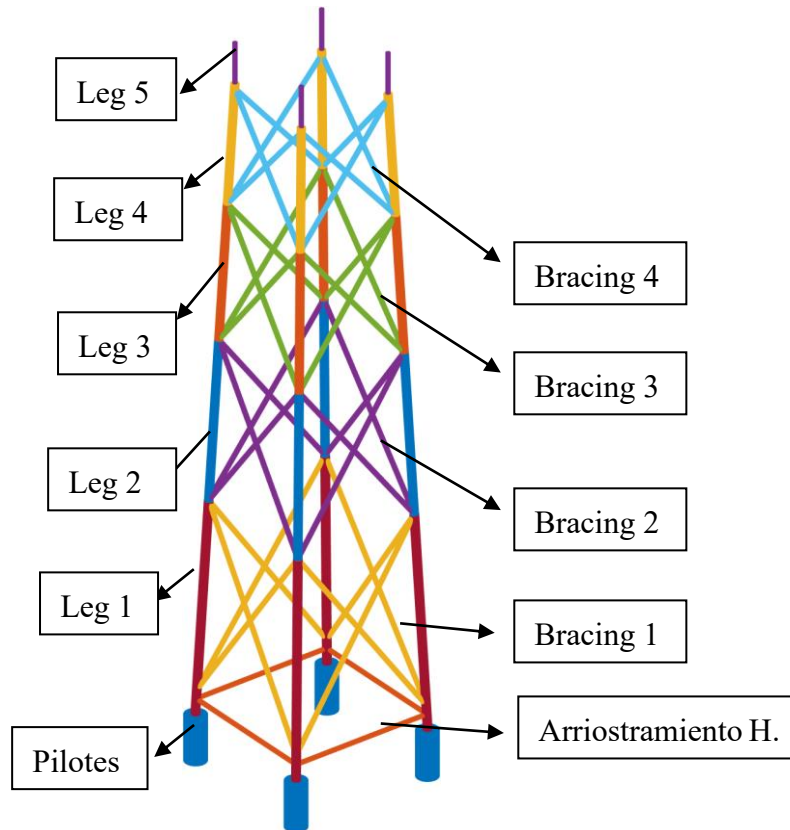


Figura R - 1. Secciones de elementos agrupados del jacket

La subestructura se encuentra ubicada en el Mar del Norte, concretamente en aguas fronterizas entre el Reino Unido y los Países Bajos. Las condiciones meteorológicas y batimetría de la zona favorecen la instalación de este tipo de tecnologías eólicas, debido a su régimen de vientos favorables y estables.

Para el análisis del comportamiento estructural se ha hecho una evaluación exhaustiva de las distintas combinaciones de carga que menciona la normativa, con el fin de representar las condiciones ambientales características de la zona de manera lo más precisa posible. Para ello se definieron múltiples escenarios de carga compuestos por la interacción de distintos agentes, como son: el viento, considerando tanto turbulencia normal como condiciones extremas y el oleaje de altura máxima con periodos de retorno comprendidos entre 1 y 50 años.

Entre las combinaciones mencionadas por la normativa, se seleccionaron los tres casos más representativos para el diseño de cimentaciones fijas, recogidas y resumidas en la siguiente tabla:

TR - 1. Casos de carga analizados

Escenario	Tipo de carga	Viento	Oleaje	Designaciones
E-1	Condiciones normales de operación	NTM, a velocidad nominal	ESS, estado extremo a 1 año	U1 + W1
E-2	Carga extrema de oleaje y gran turbulencia	ETM, a velocidad nominal	EWH, altura extrema a 50 años	U2 + W3
E-3	Carga extrema de viento y oleaje	EOG, a velocidad nominal	EWH, altura extrema a 1 año	U3 + W2
Todo los escenarios de carga son aplicados a estos diferentes ángulos de incidencia:				
Alineado 0°		Alineado 45°		Desalineado 45°
Alineado 0°		Alineado 45°		Desalineado 90°

El primero corresponde a una condición de servicio habitual, caracterizada por un viento con turbulencia normal y oleaje extremo con retorno de 1 año. El segundo refleja un escenario de carga extrema, definido por un viento severo con turbulencias extremas y un oleaje asociado a la altura extrema de ola para un periodo de retorno de 50 años. Por último, el tercer caso de carga representa las condiciones de carga extrema de viento y una altura máxima de ola para un periodo de un año.

En este contexto, los Estados Límite Último (ELU), de Servicio (ELS) y de Fatiga (ELF) se han definido como los criterios principales para la verificación estructural.

Estos estados límite permiten garantizar que la subestructura no presentará fallos por sobreesfuerzo, deformaciones excesivas ni deterioro acumulado por las cargas cíclicas a lo largo de su vida útil. Para cada una de las subestructuras analizadas en este trabajo se han aplicado las siguientes verificaciones: en el caso del ELU, se comprobaron las tensiones máximas de Von Mises e inestabilidades locales y globales; en cuanto al ELS, se evaluaron las deformaciones y frecuencias fundamentales del sistema; mientras que en el ELF se estimó el daño por fatiga acumulado para las barras y uniones a lo largo de un periodo de diseño de 1 y 50 años.

## Metodología

El objetivo principal de la metodología empleada es asegurar el cumplimiento de los requisitos normativos en materia de resistencia, estabilidad y durabilidad, intentando lograr un equilibrio adecuado entre seguridad y eficiencia en el uso de materiales. Por lo que, la metodología empleada se ha basado principalmente en la integración de dos herramientas computacionales: OpenFAST y Matlab. Por un lado, se encuentra OpenFAST, que es un software utilizado para simular el comportamiento dinámico de las subestructuras bajo distintos escenarios de carga. Para ello, se realiza un análisis en el dominio del tiempo que incorpora las interacciones aero-hidro-elásticas entre todos los componentes que conforman el sistema. Esto permite obtener unos resultados detallados y realistas del comportamiento dinámico estructural.

La arquitectura modular de este software permite analizar de manera detallada cada componente del sistema mediante módulos especializados. El módulo SeaState introduce las condiciones oceánicas, como el oleaje y corrientes marinas, aplicando las ecuaciones de Morison para calcular las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre la subestructura. La respuesta estructural se modela mediante el SubDyn, un módulo basado en el cálculo de elementos finitos que permite capturar su comportamiento dinámico bajo diferentes escenarios de carga. TurbSim es una herramienta externa utilizada para generar campos de viento, con propiedades estadísticas realistas, necesarios para simular condiciones atmosféricas. Estos datos generados por TurbSim se integran a través del módulo InflowWind, encargado de definir el viento incidente sobre la estructura.

Las cargas aerodinámicas generadas por el viento se calculan mediante AeroDyn, que utiliza la teoría del momento de las palas para calcular de manera precisa las fuerzas y momentos sobre el rotor, por ende, sobre todo el sistema y la torre. El módulo ServoDyn se encarga de simular el sistema de control del aerogenerador, incluyendo la regulación del ángulo de paso de las palas, la orientación de la góndola y el sistema de frenado, además integra tanto la lógica de control como los actuadores dinámicos.

En cuanto a la respuesta estructural del aerogenerador, esta es simulada mediante el módulo de ElastoDyn, que se encarga de la respuesta dinámica no lineal del aerogenerador. BeamDyn proporciona una modelización del comportamiento estructural flexible y no lineal de las palas, mediante una formulación de elementos finitos.

Finalmente, BModes se emplea para el cálculo de modos de vibración y frecuencias fundamentales, información clave para la evaluación de la estabilidad estructural, la optimización del diseño y la prevención de fenómenos de fatiga.

Una de las principales ventajas de este enfoque modular que presenta OpenFAST y al asumir un enfoque acoplado, es que permite obtener una visión realista del comportamiento del sistema bajo condiciones de carga reales, considerando efectos acumulativos, interacciones no lineales entre subsistemas y respuestas dinámicas complejas. Este comportamiento se expresa mediante un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias en forma matricial, que describe la respuesta del sistema en el dominio del tiempo.

$$f(t) = [M] \cdot \ddot{u}(t) + C \cdot \dot{u}(t) + K \cdot u(t) \quad (1.1)$$

A partir de las matrices de masa ( $M$ ), amortiguamiento ( $C$ ) y rigidez ( $K$ ), junto con el vector de desplazamientos nodales  $u(t)$  y sus derivadas temporales correspondientes, así como el vector de fuerzas nodales  $f(t)$ , se describe totalmente el comportamiento dinámico del sistema.

A su vez, el otro software que también se ha usado en este trabajo es el Matlab. Este ha permitido desarrollar un código propio con la capacidad de procesar los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas en OpenFAST y llevar a cabo las verificaciones estructurales. Permitiendo identificar los elementos más solicitados de la subestructura, ajustar sus dimensiones físicas con proceso iterativo de diseño y reducir las tensiones internas.

Cabe destacar que se ha decidido dotar al código de la capacidad de analizar los distintos estados tensionales que experimentan los elementos, en siete subdivisiones a lo largo de su eje longitudinal. Esta estrategia permite una evaluación más precisa de los esfuerzos que experimentan. Sin embargo, debido a que OpenFAST presenta una limitación técnica que restringe el número máximo de divisiones a 99 elementos, ha sido necesario realizar dos simulaciones por cada uno de los casos de carga considerados para poder representar toda la geometría estructural. Además, también se han considerado distintos ángulos de aplicación dentro de la sección transversal de cada elemento, con el objetivo de representar de forma aún más precisa la distribución y orientación de las tensiones máximas.

## Resultados

Durante el análisis inicial de la subestructura de referencia, se realizó una simulación completa. Esta simulación, efectuada a través de OpenFAST y analizada con el código desarrollado en Matlab, reflejó cómo se distribuían las tensiones en cada uno de los elementos del jacket, lo que facilitó la identificación de los componentes más críticos o solicitados. Se detectaron elementos con coeficientes de aprovechamiento por encima de la unidad y ángulos de inclinación de la torre superiores al valor límite, establecido según la normativa en  $0,25^\circ$ , lo que indica un diseño inadecuado frente a las condiciones de carga estudiadas en este trabajo.

Ante esta situación, se planteó un proceso de mejora basado en la modificación progresiva de los parámetros físicos en los elementos más comprometidos. Para cada iteración, se evaluaba el cumplimiento de los Estados Límite Último (ELU), de Servicio (ELS) y de Fatiga (ELF) en cada uno de los elementos de la estructura. Además, se mantuvieron las condiciones de contorno y parámetros generales constantes a lo largo de todo el proceso, con el fin de garantizar la coherencia de las simulaciones.

Todo este proceso permitió reducir el coeficiente de aprovechamiento elástico del elemento más solicitado hasta un valor de factor de aprovechamiento inferior a 1, lo que supuso una mejora significativa en su comportamiento. De igual manera, el ángulo de inclinación máximo de la torre se redujo a valores inferiores a  $0,25^\circ$ . El daño acumulado por fatiga para los dos periodos de retorno descendió por debajo del 2% en todos los elementos y la frecuencia fundamental se estableció dentro del intervalo límite.

Si bien se observó incremento de peso, derivado del aumento de los parámetros físicos que conforman la subestructura, este fue compensado por la mejora del comportamiento estructural.

## Conclusiones

El crecimiento exponencial de la energía eólica offshore refuerza la utilidad y relevancia de trabajos como este, que contribuyen a mejorar las soluciones estructurales ya creadas en un sector cada vez más exigente.

Con este trabajo se ha demostrado la capacidad y la utilidad de integrar los dos software nombrados anteriormente, OpenFAST y Matlab. Entre ambos se puede realizar estudios complejos de cimentaciones fijas offshore pese a sus limitaciones inherentes.

Del aerogenerador poco hay que añadir, ya que se trata de un modelo ampliamente utilizado como referencia en numerosos estudios y con un buen comportamiento contrastado. En cuanto a la subestructura final, hay que comentar que se ha conseguido un diseño que cumple con las verificaciones estructurales exigidas por la normativa, aunque dista aún de ser la solución más eficiente posible. Para lograrla habría que realizar muchas más iteraciones que permitan refinar el proceso iterativo de diseño. La gran desventaja es el costo computacional que esto conllevaría, ya que el tiempo transcurrido desde el comienzo de la simulación hasta la obtención de resultados puede extenderse durante varios días.

## Propuestas de mejora

Como mejora futura, se propone automatizar completamente el proceso iterativo de diseño, con el objetivo de aumentar su eficiencia y conseguir reducir aún más el peso total de la estructura, sin comprometer sus verificaciones. También se sugiere buscar una posible mejora en la herramienta OpenFAST que permita subdividir directamente los 112 elementos estructurales para el análisis, evitando así la necesidad de duplicar simulaciones por cada escenario de carga considerado. Por último, se plantea la posibilidad de crear una interfaz gráfica que represente de forma visual e intuitiva las deformaciones, tensiones y modos de vibración del sistema. Esta herramienta facilitaría notablemente la interpretación de resultados y contribuiría con la toma de decisiones más durante las etapas de diseño.

# Abstract

In recent years, offshore wind energy has established itself as a sustainable energy source with great potential for development. This exponential growth has driven the design and development of structural solutions capable of adapting to increasingly demanding marine environments, where intense load conditions, together with the increase in size and power of turbines, pose major challenges in terms of strength and durability. In this context, it is essential to conduct a detailed study of this type of structure, whose main function is to ensure the operational performance of wind turbines.

However, despite its many advantages, offshore wind energy also presents significant complexities. Among the main difficulties are the high costs associated with the installation, operation and maintenance of wind turbines, which considerably exceed those of onshore projects. This is largely due to the need to use specialised vessels and equipment adapted to maritime conditions. In addition, continuous exposure to highly corrosive environments accelerates the deterioration of materials, requiring more rigorous preventive and corrective maintenance programmes.

On the other hand, the presence of wind turbines in the marine environment is not without its problems. During the construction and operation phases, wind turbines can interfere with the balance of marine ecosystems, alter the migratory routes of protected species or conflict with economic activities such as fishing. In view of this reality, many countries have established strict regulatory frameworks that require prior and ongoing assessment of potential environmental impacts, as well as the implementation of mitigation measures from the planning phase to the decommissioning of wind farms. Continuous technological advances, together with the experience accumulated in the sector, are making it possible to progressively mitigate many of the challenges mentioned above.

Numerous studies focused on the analysis and optimisation of offshore structures have traditionally been based on decoupled models, in which the substructure is analysed independently of the turbine. Many related articles have shown that this type of approach can lead to inaccurate estimates of displacements, stresses, and fatigue damage. In contrast, coupled models, which consider the dynamic interaction between the turbine and the substructure, offer a more realistic representation of structural behaviour under operating conditions, allowing for more reliable results for the final design.

## Wind turbines

A wind turbine is a large machine designed to convert the kinetic energy of wind into electrical energy, playing a key role in the development of renewable energy sources. In most cases, these are horizontal axis turbines, which can be installed on both fixed structures anchored to the seabed and floating platforms in the case of offshore wind farms, enabling deployment even in deeper waters. These turbines are classified according to different criteria, including the number of blades, which influences aerodynamic efficiency and noise generation; the rotor speed, which can be constant or variable depending on the design; and the type of control system, whether passive or active, among other aspects that define their operation and performance.

In this regard, it is important to highlight three characteristic wind speeds that govern the operation of a turbine: the lower cut-off speed, which represents the minimum wind threshold required for the wind turbine to start generating electricity (usually between 3 and 4 m/s, depending on the site and model); the rated speed, which corresponds to the wind speed at which the turbine reaches its maximum designed power output, often around 12–15 m/s for typical machines; and the upper cut-off speed, which is usually around 25 m/s and at which the turbine automatically stops to prevent structural damage and ensure safety. These speeds largely determine its behaviour under varying wind conditions and are key parameters in site assessment and design.

To cope with adverse weather conditions, such as gusts and excessively strong winds that could compromise the integrity of the blades or tower, wind turbines incorporate sophisticated control systems in the blades, usually operated by hydraulic or electric actuators. These actuators allow the blades to be reoriented to an angle of approximately 90° to the direction of the airflow, a manoeuvre known as feathering, thus reducing the aerodynamic load and allowing the rotor to stop in a short period of time without excessive mechanical stress. This feature is crucial for ensuring the durability of components and minimizing maintenance needs.

The operating principle of wind turbines is based on aerodynamics, similar to the mechanism that allows aeroplanes to fly and generate lift. This phenomenon is explained by Bernoulli's equation, according to which the pressure on the lower side of the blade profile is greater than on the upper side, while the flow velocity is higher on the upper side, causing a lift force perpendicular to the wind direction, which translates into a torque

that rotates the rotor. The blades are carefully designed airfoils optimized to maximize this lift-to-drag ratio, improving the efficiency of energy capture.

The power that can be extracted from the wind depends mainly on three factors: the air density; the area swept by the rotor, proportional to the square of the blade length; and the cube of the wind speed, making sites with higher average wind speeds significantly more productive. However, it is not possible to fully exploit this energy, since extracting all the kinetic energy from the wind would stop the airflow entirely and prevent further rotation. Betz's limit determines that the theoretical maximum fraction of the wind's power that can be extracted by a turbine is 59.3%, a fundamental principle in wind energy engineering. In practice, due to losses and inefficiencies, modern turbines typically achieve 40–50% of the Available wind power under optimal conditions.

## Foundations

Traditionally, the foundations of offshore wind turbines have been based on the use of monopiles, a simple structural solution that is effective in shallow waters and economical. However, as offshore wind farm locations move to deeper waters, jacket-type substructures are increasingly being chosen due to their good structural performance against lateral loads, such as those caused by wind, waves and sea currents.

Substructures of this type are composed of metal trusses anchored to the seabed by multiple interconnected piles, which allows for a more efficient distribution of forces to the ground.

This type of fixed foundation has proven to be one of the most suitable for seabed depths ranging from 30 to 60 m, an interval in which other alternatives, such as monopiles (effective at shallower depths) or floating platforms (recommended for greater depths), are less efficient structurally speaking.

## Project scope

The scope of the work covers time domain analysis under the most unfavourable load scenarios and considering the joint interaction between the substructure and the foundation. In addition, it also includes an iterative design process that allows a viable solution to be achieved that complies with the established regulatory criteria.

However, fundamental aspects for a complete project of this type are outside the scope of this study, such as the geotechnical characterisation of the site, the detailed definition of

the construction and assembly process, the economic evaluation, the environmental impact studies, the transport and installation procedures, as well as the electrical installation and the design of other auxiliary systems.

## Definition of the study problem

The main objective of this project was to carry out the structural design of a previously designed jacket substructure in order to adapt it and bring it into compliance with current mandatory regulations. To achieve this, an initial assessment of the reference design was conducted to identify structural deficiencies and critical elements that did not meet the updated load and design requirements.

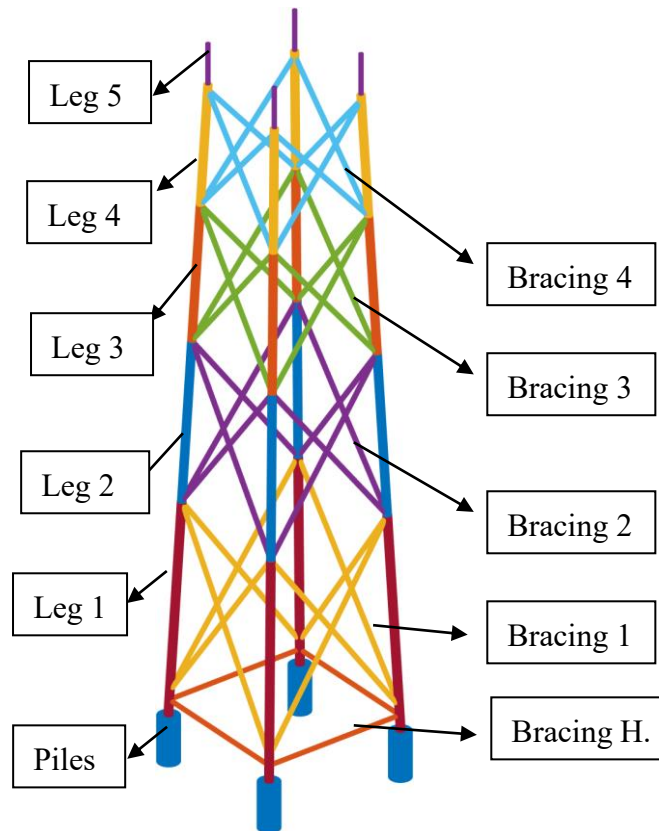
The wind turbine used in this work corresponds to the 5 MW ROWT model developed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL). This wind turbine has been widely recognised and used as a reference in numerous studies related to wind energy.

Among its most notable features are its horizontal axis turbine, a rotor with a diameter of 126 metres, composed of three blades 63 metres in length, and a nominal rotor speed ranging from 6.9 to 12.1 revolutions per minute (rpm), depending on wind speed. The wind turbine begins to operate at a wind speed of 3 m/s and reaches its rated power in the range between 11 and 13 m/s wind speed. The hub height is 90 m above ground level (top of the substructure), which allows for efficient capture of wind resources. The properties of the material used in its construction are summarised in the following table:

On the other hand, the jacket used consists of a total of 112 elements, distributed on different levels, made up of hollow tubular sections of structural steel and joined by welding. These section groups include the main legs that support the substructure, the piles that are driven into the ground to ensure anchoring to the seabed, and the bracing arranged along the structure to improve its rigidity and stability, see Figura R - 2.

The main parameters of the steel used in its construction are as follows:

As for the properties of VL EW36 steel, used in its construction, the following main parameters are worth noting elastic limit of 355 MPa, Young's modulus of 210 GPa and a Poisson's ratio of 0.3. Its density is 7,850 kg/m<sup>3</sup> and it is used for hollow tubular sections with welded joints.



*Figura R - 2. Sections of grouped jacket elements*

The substructure is located in the North Sea, specifically in waters bordering the United Kingdom and the Netherlands. The weather conditions and bathymetry of the area favour the installation of this type of wind technology, due to its favourable and stable wind regime.

For the structural behaviour analysis, a comprehensive assessment of the different load combinations specified in the regulations has been carried out in order to represent the characteristic environmental conditions of the area as accurately as possible. To this end, multiple load scenarios were defined, consisting of the interaction of different agents, such as wind, considering both normal turbulence and extreme conditions, and maximum wave height with return periods ranging from 1 to 50 years.

Among the combinations mentioned in the regulations, the three most representative cases for the design of fixed foundations were selected, as summarised in the following table:

TR - 2. Load cases Scenario analysed

Setting	Type of load	Wind model	Wave model	Designations
E-1	Normal operating conditions	NTM, at rated speed	ESS, extreme state at 1 year	U1 + W1
E-2	Extreme wave loads and high turbulence	ETM, at rated speed	EWH, extreme height at 50 years	U2 + W3
E-3	Extreme wind and wave load	EOG, at rated speed	EWH, extreme height at 1 year	U3 + W2
All load scenarios are applied to these different angles of incidence:				
Collinear 0°		Collinear 45°	Misaligned 45°	Misaligned 90°

The first corresponds to normal service conditions, characterised by normal wind turbulence and extreme waves with a return period of one year. The second reflects an extreme load scenario, defined by severe wind with extreme turbulence and waves associated with extreme wave heights for a return period of 50 years. Finally, the third load case represents extreme wind load conditions and maximum wave height for a one-year return period.

In this context, the Ultimate Limit State (ULS), Serviceability Limit State (SLS) and Fatigue Limit State (FLS) have been defined as the main criteria for structural verification.

These limit states ensure that the substructure will not fail due to overstressing, excessive deformation or cumulative deterioration from cyclic loads throughout its service life. For each of the substructures analysed in this study, the following verifications were applied: in the case of the ULS, the maximum Von Mises stresses and local and global instabilities were checked; for ELS, the deformations and fundamental frequencies of the system were evaluated; while for ELF, the accumulated fatigue damage for the bars and joints was estimated over a design period of 1 and 50 years.

## Methodology

The main objective of the methodology used is to ensure compliance with regulatory requirements in terms of strength, stability and durability, while seeking to achieve an appropriate balance between safety and efficiency in the use of materials, avoiding unnecessary overdesign. Therefore, the methodology applied in this project has been based mainly on the integration of two powerful computational tools: OpenFAST and Matlab, which complement each other to perform advanced structural analyses and result verification. On the one hand, there is OpenFAST, which is open-source software widely used in the wind energy industry to simulate the dynamic behaviour of substructures under different load scenarios, both extreme and fatigue. To achieve this, a detailed time-domain analysis is performed that incorporates the aero-hydro-elastic interactions between all the components that make up the system, allowing the influence of wind, waves, current, and control systems to be reflected in the results. This enables the generation of detailed and realistic predictions of the system's dynamic structural behaviour over its expected lifetime.

The modular architecture of this software allows each component of the wind turbine system to be analysed in detail using specialised, dedicated modules, improving flexibility and accuracy. The SeaState module introduces ocean environmental conditions, such as irregular waves, tides, and sea currents, applying Morison's equations to calculate the hydrodynamic forces acting on the submerged parts of the substructure. The structural response of the substructure itself is modelled using SubDyn, a module based on a reduced-order finite element formulation that captures its dynamic behaviour under different combinations of wind and wave loading scenarios. To realistically simulate the turbulent wind field, TurbSim is used as an external pre-processing tool, generating three-dimensional wind fields with realistic statistical properties, including gusts and shears, which are representative of offshore atmospheric conditions. This wind field data is then integrated through the InflowWind module, which defines the wind incident on the rotor and tower over time.

The aerodynamic loads generated by the wind on the blades and tower are calculated using AeroDyn, which applies blade element momentum theory and accounts for unsteady aerodynamic effects to accurately compute forces and moments on the rotor, and hence on the entire system and its support structure. The ServoDyn module is

responsible for simulating the wind turbine control system, which includes the pitch angle regulation of the blades, nacelle yaw orientation, and the braking system, integrating both the control logic algorithms and the dynamic behaviour of actuators.

The overall structural response of the wind turbine is simulated using the ElastoDyn module, which handles the non-linear dynamic response of the tower and rotor in a fully coupled manner, ensuring the combined effects are properly accounted for. For a more detailed modelling of blade dynamics, the BeamDyn module provides a flexible and geometrically non-linear finite element model of the blades, capturing local deformations and torsion effects.

Finally, BModes is used as a pre-processor to calculate the vibration modes and fundamental frequencies of the structure, which is key information for evaluating dynamic stability, avoiding resonance, optimising the design, and mitigating fatigue phenomena over the turbine's operational life.

One of the main advantages of this modular and coupled approach offered by OpenFAST is that it provides an in-depth and realistic understanding of the behaviour of the complete system under real and combined load conditions, while considering cumulative effects, non-linear interactions between subsystems, and complex dynamic responses that would otherwise be underestimated by simplified models. This behaviour is expressed by a system of coupled ordinary differential equations in matrix form, which describes the transient and steady-state response of the system in the time domain and enables a thorough evaluation of the structural performance under design and extreme conditions.

$$f(t) = [M] \cdot \ddot{u}(t) + C \cdot \dot{u}(t) + K \cdot u(t) \quad (1.2)$$

Based on the mass ( $M$ ), damping ( $C$ ) and stiffness ( $K$ ) matrices, together with the nodal displacement vector  $u(t)$  and its corresponding time derivatives, as well as the nodal force vector  $f(t)$ , the dynamic behaviour of the system is fully described.

In turn, the other software that has also been used in this work is Matlab. This has allowed us to develop our own code with the ability to process the results obtained from the simulations carried out in OpenFAST and carry out structural verifications. This allows us to identify the most stressed elements of the substructure, adjust their physical dimensions with an iterative design process, and reduce internal stresses.

It should be noted that it was decided to equip the code with the ability to analyse the different stress states experienced by the elements, in seven subdivisions along their longitudinal axis. This strategy allows for a more accurate assessment of the stresses they experience. However, due to a technical limitation in OpenFAST that restricts the maximum number of divisions to 99 elements, it has been necessary to perform two simulations for each of the load cases considered to represent the entire structural geometry. In addition, different angles of application within the cross-section of each element have also been considered, with the aim of representing the distribution and orientation of the maximum stresses even more accurately.

## Results

During the initial analysis of the reference substructure, a complete simulation was carried out. This simulation, performed using OpenFAST and analysed with code developed in Matlab, showed how the stresses were distributed across each of the jacket elements. This made it easier to identify the most critical or stressed components. Elements with utilisation coefficients above unity and tower inclination angles above the limit value, set at  $0.25^\circ$  according to the regulations, were detected, indicating an inadequate design for the load conditions studied in this work.

In view of this situation, an improvement process was proposed based on the progressive modification of the physical parameters in the most compromised elements. For each iteration, compliance with the Ultimate Limit State (ULS), Serviceability Limit State (SLS) and Fatigue Limit State (FLS) was evaluated for each of the elements of the structure. In addition, the boundary conditions and general parameters were kept constant throughout the process in order to ensure the consistency of the simulations.

This entire process made it possible to reduce the elastic utilisation coefficient of the most stressed element to a utilisation factor of less than 1, which represented a significant improvement in its behaviour. Similarly, the maximum inclination angle of the tower was reduced to values below  $0.25^\circ$ . The cumulative fatigue damage for the two return periods fell below 2% in all elements, and the fundamental frequency was established within the limit range.

Although an increase in weight was observed, due to the increase in the physical parameters that make up the substructure, this was offset by the improvement in structural performance.

## Conclusion

The exponential growth of offshore wind energy reinforces the usefulness and relevance of work such as this, which contributes to improving existing structural solutions in an increasingly demanding and competitive sector. The deployment of larger turbines in harsher marine environments requires continuous adaptation of design methodologies to ensure safety, reliability, and cost-effectiveness. In this context, studies like this one provide valuable insights into the behaviour of offshore support structures and highlight areas where further improvements can be made to meet both regulatory and operational expectations.

This work has also demonstrated the capacity and usefulness of integrating the two software programmes mentioned above, OpenFAST and Matlab, into a coherent analysis framework. Together, they enable the execution of complex studies of fixed offshore foundations, accurately capturing dynamic interactions and assessing compliance with relevant standards despite their inherent limitations. This integrated approach not only allows for detailed verification of structural performance under extreme and fatigue load conditions but also offers flexibility to adapt the analysis to different scenarios and design assumptions, making it a robust and versatile methodology.

There is little to add about the wind turbine itself, as it is a model widely used as a reference in numerous studies and industry benchmarks, with proven good performance and reliable behaviour under a variety of operating conditions. Its widespread use facilitates comparison of results and ensures that findings remain relevant and applicable in a broader context.

As for the final substructure, it should be noted that a design has been achieved that successfully complies with the structural verifications required by the applicable regulations, demonstrating its adequacy for the studied site conditions. However, the resulting design is still far from being the most efficient solution possible, leaving room for further refinement and optimisation. Achieving a more efficient configuration would require many more iterations to refine the iterative design process, exploring alternative design strategies and parameter combinations. The major disadvantage of pursuing this level of refinement is the significant computational cost it would entail, as the time elapsed from starting the simulation to obtaining the results can extend over several days,

particularly when considering the full range of load cases and design scenarios required for a comprehensive assessment.

## Proposals for improvement

As a future improvement, it is proposed to fully automate the iterative design process, with the aim of increasing its efficiency and further reducing the total weight of the structure without compromising its verifications. It is also suggested to seek a possible improvement in the OpenFAST tool that would allow the 112 structural elements to be directly subdivided for analysis, thus avoiding the need to duplicate simulations for each load scenario considered. Finally, the possibility of creating a graphical interface that visually and intuitively represents the deformations, stresses and vibration modes of the system is proposed. This tool would greatly facilitate the interpretation of results and contribute to better decision-making during the design stages.



## Índice general

Memoria

Anexo I. Verificación del código

Anexo II. Resultados estructurales del jacket OC4 optimizado (Couceiro)

Anexo III. Resultados estructurales de la subestructura diseñada

Anexo IV. Código desarrollado

Planos



**Universidad de Las Palmas de Gran Canaria**  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES Y CIVILES  
GRADOS EN INGENIERÍA MECÁNICA

# Memoria

---

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SUBESTRUCTURA TIPO JACKET  
PARA EL AEROGENERADOR MARINO NREL 5MW

Trabajo de Fin de Grado

**Autor:** Saulo M. Román Cabrera

**Tutores:** Luis A. Padrón Hernández y Carlos Romero Sánchez

## Índice de contenido

1.1 Objeto.....	23
1.2 Alcance .....	23
1.3 Antecedentes.....	24
1.3.1 Situación eólica actual.....	27
1.3.1.1 Contexto .....	27
1.3.1.2 Previsiones.....	29
1.3.2 Aerogeneradores.....	30
1.3.2.1 Parámetros de funcionamiento .....	35
1.3.2.2 Componentes de un aerogenerador.....	36
1.3.3 Cimentación .....	37
1.3.3.1 Tipos de cimentaciones .....	38
1.4 Normativa .....	44
1.4.1 Normativa aplicada .....	45
1.4.2 Otros estándares y normas de aplicación en el ámbito del diseño y construcción de estructuras para la eólica offshore .....	46
1.5 Requisitos de diseño .....	47
1.5.1 Emplazamiento.....	47
1.5.1.1 Ubicación.....	47
1.5.1.2 Cargas ambientales .....	48
1.5.2 Aerogenerador empleado .....	53
1.5.3 Subestructura empleada.....	55
1.6 Metodología .....	57
1.6.1 Software empleado .....	57
1.6.1.1 OpenFAST.....	57
1.6.1.2 Matlab.....	64
1.6.2 Formulación de cargas .....	64

1.6.2.1 Cargas estáticas.....	64
1.6.2.2 Cargas dinámicas.....	66
1.6.3 Análisis de la respuesta a excitaciones.....	74
1.6.3.1 Estudio del dominio del tiempo.....	75
1.6.4 Explicación del código desarrollado.....	76
1.6.4.1 Obtención de las magnitudes físicas de las secciones.....	79
1.6.4.2 Obtención de los parámetros geométricos de las secciones.....	80
1.6.4.3 Cálculo de las tensiones.....	83
1.6.4.4 Análisis de la inestabilidad global y local.....	87
1.6.4.5 Criterios de verificación estructural.....	94
1.7 Pruebas realizadas sobre el código desarrollado.....	99
1.8 Definición del problema.....	100
1.8.1 Aerogenerador empleado.....	100
1.8.2 Subestructura empleada.....	100
1.8.3 Cargas de estudio.....	101
1.9 Resultados obtenidos.....	102
1.9.1 Resultado obtenidos de la subestructura OC4 optimizada.....	102
1.9.1.1 Estado Límite Último de la subestructura del jacket OC4 optimizada..	103
1.9.1.2 Estado Límite Servicio.....	104
1.9.1.3 Estado Límite Fatiga.....	105
1.9.2 Proceso de Diseño.....	106
1.9.2.1 Secuencia del muestreo iterativo realizado.....	107
1.9.3 Resultados obtenidos de la subestructura diseñada.....	109
1.9.3.1 Estados Límite Último.....	112
1.9.3.2 Estados Límite Servicio.....	113
1.9.3.3 Estados Límite Fatiga.....	114
1.10 Conclusiones.....	114

1.11 Referencias.....	116
-----------------------	-----

## Índice de figuras

Figura 1. Realidad del tamaño de la energía eólica offshore (Fuente:[2]) .....	24
Figura 2. Tipo de tecnología más usada (Fuente: [4]) .....	25
Figura 3. Impacto visual de los aerogeneradores offshore desde la costa (Fuente: [9]).	26
Figura 4. Evolución de la capacidad productiva mundial (Fuente: [4]) .....	27
Figura 5. Capacidad productiva global esperada según estimaciones del Global Wind (Fuente: [10]).....	27
Figura 6. Ubicación de proyectos eólicos offshore o futuros en Europa (Fuente: [12] )	28
Figura 7. Disposición de eje de giro de los aerogeneradores .....	30
Figura 8. Configuraciones de número de palas en aerogeneradores horizontales.....	30
Figura 9. Comportamiento aerodinámicos de las palas de un aerogenerador (Fuente: [16]) .....	32
Figura 10. Evolución de los aerogeneradores con el tiempo (Fuente: [10]).....	34
Figura 11. Partes de un aerogenerador (Fuente: [17]) .....	36
Figura 12. Tipología de cimentación para aerogeneradores (Fuente:[18] ) .....	38
Figura 13. Esquema de factores decisivos en la elección de aerogeneradores.....	38
Figura 14. Tipologías de cimentaciones marinas fijas .....	39
Figura 15. Cimentación por monopilote (Fuente: [19]) .....	39
Figura 16. Cimentación por trípode(Fuente:[19] ) .....	40
Figura 17. Cimentación por subestructura tipo jacket (Fuente: [19]).....	41
Figura 18. Cimentación por tripilotes (Fuente: [20]) .....	41
Figura 19. Cimentación por gravedad(Fuente: [19]).....	42
Figura 20. Tipología de cimentación marina flotante (Fuente:[21]) .....	43
Figura 21. Ubicación seleccionada (Fuente: [14]).....	47
Figura 22. Ángulos de incidencia de las cargas ambientales (Fuente: [30]) .....	51
Figura 23. Curva de potencia del aerogenerador (Fuente: [31]).....	54
Figura 24. Optimización propuesta del jacket OC4 .....	56
Figura 25. Flujo de trabajo de OpenFAST .....	58
Figura 26. Principales cargas aplicadas sobre la subestructura (Fuente: [7]).....	74
Figura 27. Diagrama del flujo de trabajo del código desarrollado .....	77

Figura 28. Subdivisiones de los elementos y ángulos empleados .....	78
Figura 29. Superposición del estado tensional de las secciones.....	83
Figura 30. Tipos de inestabilidades (Fuente: [42]).....	87
Figura 31. Respuesta estructural al estado de carga de la subestructura OC4 optimizada .....	103
Figura 32. Frecuencia natural del sistema del jacket OC4 modificado .....	105
Figura 33. Diagrama de flujo del proceso iterativo .....	106
Figura 34. modelo OC4 optimizado frente a la subestructura final propuesta .....	109
Figura 35. Respuesta estructural al estado de carga de la subestructura diseñada .....	112
Figura 36. Frecuencia fundamental del sistema de la subestructura diseñada .....	113

## Índice de tablas

Tabla 1. Resultados de la comparación del informe universitario .....	29
Tabla 2. Ubicación exacta del aerogenerador.....	47
Tabla 3. Resumen de los estados de carga de estudio .....	51
Tabla 4. Resumen de las condiciones de viento del emplazamiento.....	52
Tabla 5. Resumen de las condiciones de oleaje del emplazamiento .....	52
Tabla 6. Características principales del aerogenerador .....	53
Tabla 7. Principales propiedades del material del aerogenerador .....	54
Tabla 8. Nomenclatura empleada para el agrupamiento de secciones .....	55
Tabla 9. Comparación entre el modelo OC4 y el jacket OC4 optimizado .....	56
Tabla 10. Número de simulaciones realizadas .....	79
Tabla 11. Parámetros del coeficiente de reducción de pandeo para cilindros delgados (Fuente: [40]).....	91
Tabla 12. Valores de la curva S-N con estructuras con protección catódica.....	98
Tabla 13. Características principales del aerogenerador .....	100
Tabla 14. Propiedades principales del material de la subestructura empleada.....	100
Tabla 15. Dimensiones principales de la secciones que componen a la subestructura empleada.....	101
Tabla 16. Resumen de los valores de carga ambientales del emplazamiento .....	101
Tabla 17. Resultados obtenidos del elemento más solicitado de la subestructura OC4 optimizada .....	103
Tabla 18. Resultados de la barra a fatiga de Couceiro .....	105
Tabla 19. Resultados de la unión a fatiga de Couceiro .....	105
Tabla 20. Evolución de las dimensiones principales durante las iteraciones del elemento 1 .....	108
Tabla 21. Comparación en las dimensiones principales de las subestructuras.....	110
Tabla 22. Resumen de las verificaciones estructurales realizadas .....	111
Tabla 23. Resultados obtenidos del elemento más solicitado de la subestructura diseñada .....	112
Tabla 24. Resultados de la barra a fatiga de la subestructura optimizada.....	114
Tabla 25. Resultados de la unión a fatiga de la subestructura optimizada .....	114



## 1.1 Objeto

El objetivo principal del presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) es realizar el estudio y diseño de una subestructura tipo Jacket para un aerogenerador marino. Como punto de partida, se empleará un modelo de jacket prediseñado, el cuál fue propuesto específicamente para su uso con un aerogenerador de 5 MW. A partir de este modelo inicial, se llevará a cabo un proceso iterativo de diseño y ajuste, con el fin de obtener una configuración de jacket adecuada y que cumpla con los requisitos estructurales establecidos por los códigos normativos de aplicación.

## 1.2 Alcance

El presente TFG se centra en el diseño y optimización de una subestructura tipo jacket destinada a soportar un aerogenerador marino en profundidades intermedias. Por ello, en este trabajo se incluye el análisis preliminar del comportamiento estructural frente a cargas operativas y ambientales, mediante el software OpenFAST [1]; una verificación de la resistencia y estabilidad estructural, mediante un programa desarrollado para este trabajo en Matlab, así como la optimización progresiva del diseño estructural hasta alcanzar una solución viable.

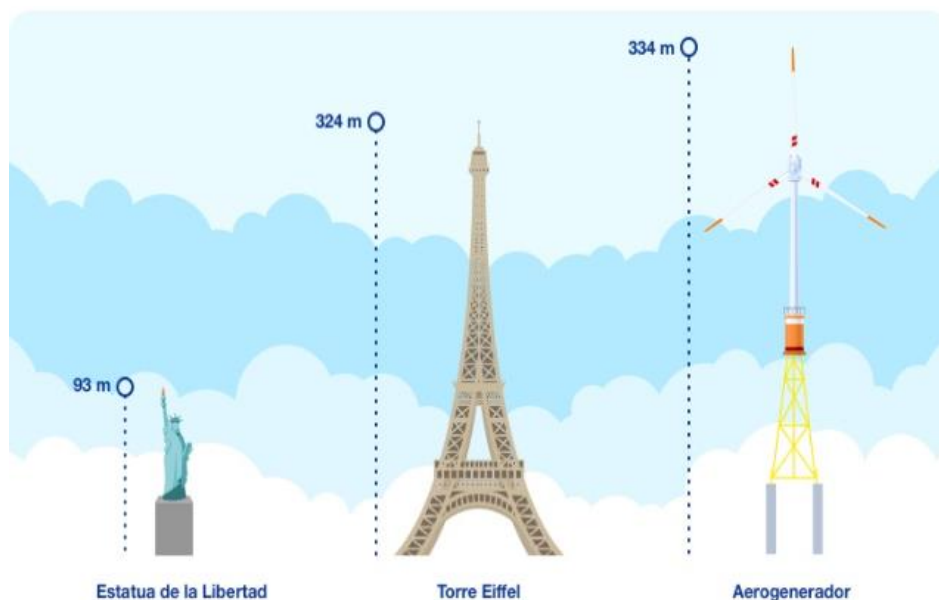
Esto permitirá estudiar el comportamiento dinámico de la subestructura en el dominio del tiempo, para los escenarios de carga más desfavorables a los que va a estar sometido a lo largo de su vida útil. Además, se podrá simular la interacción de forma conjunta entre la subestructura y la cimentación.

Del mismo modo, quedan fuera del alcance, aspectos esenciales para el desarrollo de un proyecto completo de este ámbito, como la caracterización geotécnica del emplazamiento, la definición detallada del proceso constructivo y de montaje, la evaluación económica, los estudios de impacto ambiental, los procedimientos de transporte e instalación, así como la instalación eléctrica y el diseño de otros sistemas auxiliares.

Una vez se tenga la estructura final optimizada, se analizarán los resultados obtenidos con ayuda del programa desarrollado y se comprobará que se verifican todos los requerimientos estructurales exigibles, los cuales serán incorporados en los anexos de este documento.

### 1.3 Antecedentes

En los últimos diez años, la energía eólica marina ha emergido como una de las tecnologías más relevantes dentro del panorama energético global. Este avance se ha visto motivado por la necesidad global de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y transitar hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. En comparación con la eólica terrestre (onshore), la tecnología marina (offshore) presenta ventajas notables, como la presencia de mejores condiciones de viento, mayor disponibilidad de espacio para su instalación, un impacto visual menor y una capacidad de generación eléctrica superior. Sin embargo, aplicar este tipo de tecnologías, implica una mayor dificultad para contrarrestar los efectos provocados por la interacción con el medio.



*Figura 1. Realidad del tamaño de la energía eólica offshore (Fuente:[2])*

Con el aumento de tamaño y complejidad de las turbinas, el estudio detallado del comportamiento estructural de los aerogeneradores marinos frente a las cargas ambientales se vuelve crucial para asegurar tanto su eficiencia como su longevidad. Es por ello por lo que constituye un reto técnico significativo debido a la gran variedad de factores que influyen en la respuesta del sistema, destacando la elasticidad estructural, la interacción dinámica entre el agua y la estructura, la relación suelo-estructura y la influencia de las frecuencias fundamentales. Todos estos factores, entre otros, condicionan el diseño estructural y afectan directamente el rendimiento del aerogenerador.

Muchos de los trabajos existentes en este ámbito basan su análisis y procesos de optimización en modelos desacoplados, donde la subestructura se separa de la turbina. Sin embargo, se ha demostrado que los desplazamientos, tensiones y daños por fatiga, calculados mediante modelos desacoplados, pueden mostrar una falta significativa de precisión con respecto a los resultados obtenidos por modelos acoplados. Del mismo modo, los modelos acoplados que integran todos los subsistemas de forma simultánea han demostrado ofrecer predicciones significativamente precisas y realistas del comportamiento del conjunto [3].

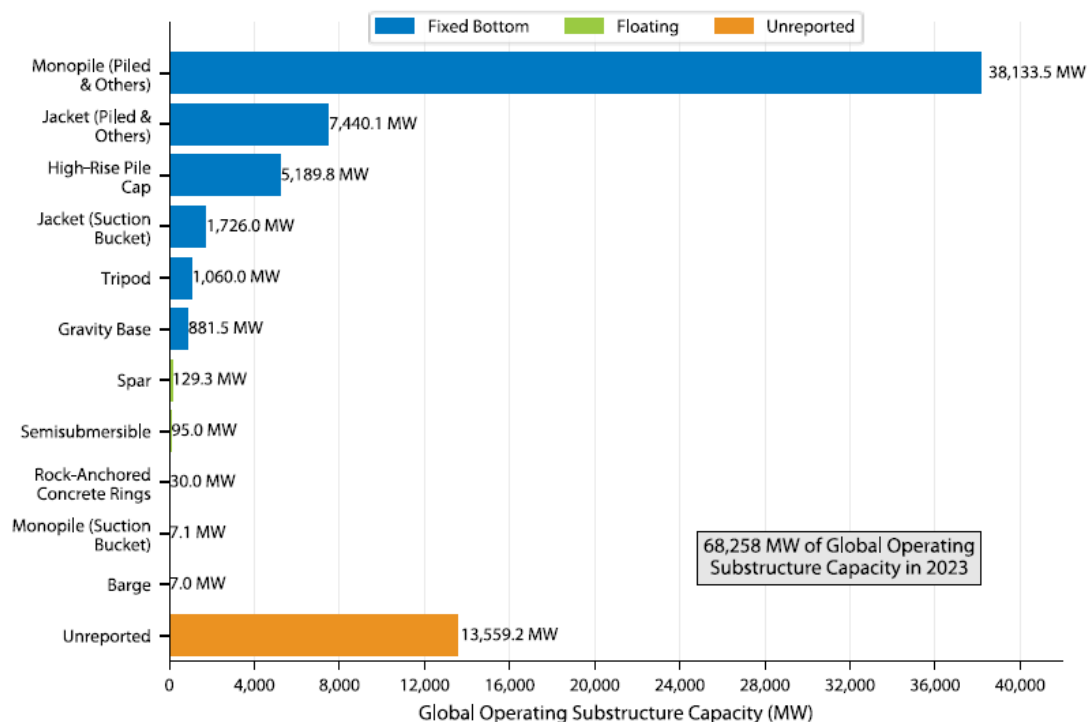


Figura 2. Tipo de tecnología más usada (Fuente: [4])

Históricamente, los monopilotes han sido la solución más común para cimentar aerogeneradores en el mar (fíjese en la Figura 2). Sin embargo, a medida que los parques eólicos avanzan hacia aguas más profundas, ha sido necesario recurrir a soluciones más polivalentes como las subestructuras tipo jacket. Estas, conformadas por varios pilotes o cajones de succión unidos entre sí mediante un entramado reticular, ofrecen una mayor estabilidad estructural frente a otras tipologías.

Además de su buena estabilidad, las subestructuras tipo jacket destacan por su rigidez frente a cargas laterales, como las provocadas por el oleaje o el viento. Al estar unidos entre sí, consiguen repartir mejor los esfuerzos y reducir los desplazamientos, lo que se traduce en un menor riesgo de vibraciones indeseadas.

Pese a sus múltiples beneficios, la energía eólica offshore enfrenta grandes complejidades. En primer lugar, los costes de instalación, operación y mantenimiento son notablemente más elevados que en los proyectos onshore, debido principalmente a la necesidad de emplear embarcaciones especializadas, equipos de montaje en alta mar y estrategias logísticas adaptadas a condiciones meteorológicas y oceánicas adversas. A esto se les suma la exposición constante a ambientes altamente corrosivos, lo que incrementa el desgaste de los materiales y exige mayores esfuerzos en mantenimiento preventivo y correctivo.

No obstante, el avance continuo de la tecnología, junto con la experiencia adquirida en el sector, está permitiendo mitigar progresivamente estos desafíos, mejorando tanto la eficiencia operativa como su viabilidad. En este contexto, proyectos como el OC4 (Offshore Code CoMParison Collaboration Continuation) [5], así como investigaciones de referencia para este trabajo, como las de Jonkman et. al [6] y Jalbi et al. [7], han proporcionado una base metodológica sólida que ha servido de punto de partida para artículos posteriores, como el desarrollado por Couceiro et al. [8], centrado en optimizar el diseño estructural de los jackets mediante modelos acoplados en el dominio temporal, manteniendo en todo momento la seguridad y funcionalidad estructural. Esta estrategia obliga a operar muy cerca de los límites establecidos por las normativa técnica, lo que incrementa la complejidad del proceso y exige una mayor precisión.

Por otro lado, aunque los parques eólicos offshore tienen cada vez un impacto visual menor (véase la Figura 3), su presencia en el mar no está exenta de consecuencias. La construcción y operación de estas infraestructuras puede afectar al equilibrio de los ecosistemas marinos, alterar rutas migratorias de especies sensibles y generar interferencias en actividades como la pesca.



*Figura 3. Impacto visual de los aerogeneradores offshore desde la costa (Fuente: [9])*

Para hacer frente a estos posibles impactos, muchos países han adoptado normativas ambientales estrictas que exigen evaluar y mitigar cualquier efecto negativo desde el inicio del proyecto hasta su desmantelamiento. [9]

### 1.3.1 Situación eólica actual

#### 1.3.1.1 Contexto

La eólica marina atraviesa una fase de expansión sin precedentes. A principios de 2024, según el National Renewable Energy Laboratory (NREL) [4], la capacidad operativa global de la energía eólica marina alcanzó los 68,26 GW, como se puede ver en la Figura 4. Esta capacidad se distribuye en un total de 319 parques eólicos que albergan más de 13.096 aerogeneradores. Durante dicho año, se puso en marcha 6,26 GW de nueva capacidad, lo que representa un incremento del 10,2% con respecto a la cifra final del año anterior.

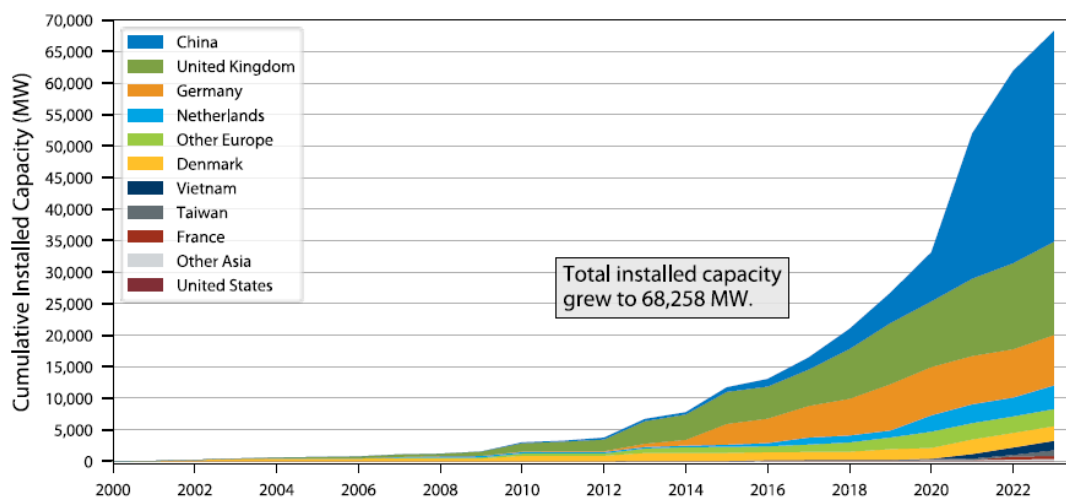


Figura 4. Evolución de la capacidad productiva mundial (Fuente: [4])

Además, si se tiene en cuenta el último informe del Global Wind Report 2024 [10] que también contempla las instalaciones recién finalizadas o en fase de puesta en servicio, se aprecia la elevación de la cifra total instalada a 75,2 GW como se muestra en la Figura 5.

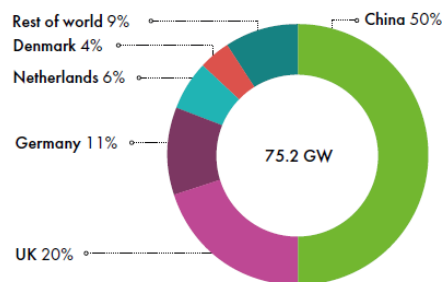


Figura 5. Capacidad productiva global esperada según estimaciones del Global Wind (Fuente: [10])

Para alcanzar los objetivos proyectados de capacidad instalada, resulta imprescindible que las turbinas offshore continúen incrementando significativamente su potencia nominal. En 2023 los modelos más avanzados ya alcanzaban potencias de entre 18 y 20 MW, con palas que superaban los 120 metros de longitud; pero como la evolución tecnológica no se detiene, se estima que algunos fabricantes asiáticos presenten prototipos de hasta 22 MW, tal y como indica [4]. Estas turbinas de alta potencia permiten una mayor generación de energía por unidad, reduciendo los costes y optimizando el espacio en los parques eólicos. Además, la integración de tecnologías como la inteligencia artificial y el monitoreo predictivo ha mejorado la eficiencia operativa de los parques eólicos, reduciendo los tiempos de mantenimiento y aumentando la vida útil de las instalaciones [11].

El Mar del Norte se ha consolidado como uno de los principales epicentros a nivel Europeo en el ámbito de la energía eólica marina, como se puede observar en la Figura 6.

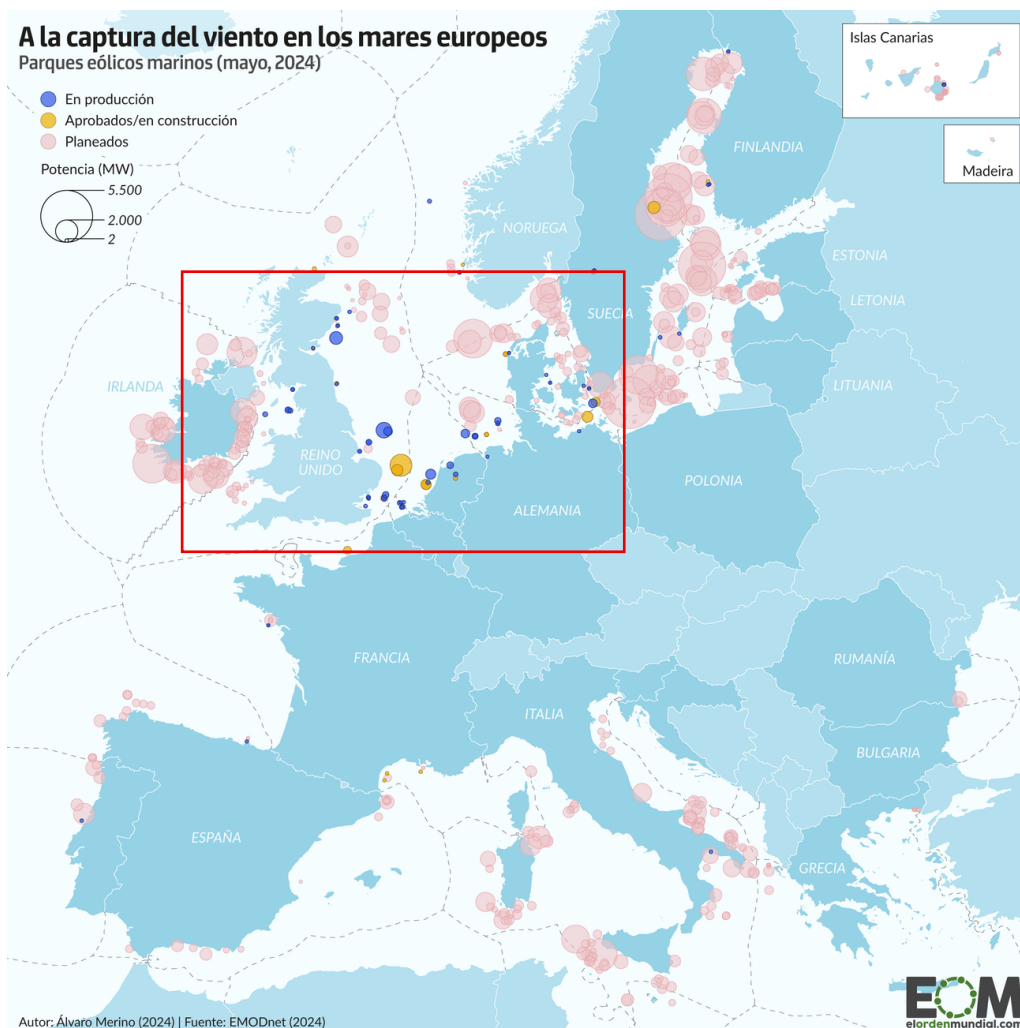


Figura 6. Ubicación de proyectos eólicos offshore o futuros en Europa (Fuente: [12])

Esta región alberga algunos de los parques eólicos más grandes y tecnológicamente avanzados del mundo. En ella las subestructuras tipo jacket han sido escogidas como la solución preferente en muchos de ellos. Un ejemplo destacado es el Seagreen Offshore Wind Farm [13], frente a la costa de Escocia, donde se han instalado 114 turbinas de 10 MW sobre cimentaciones tipo jacket a profundidades de 58,7 m.

Todos estos datos mencionados demuestran que la energía eólica offshore crece sustancialmente en todo el mundo, gracias principalmente al impulso de políticas energéticas más sostenibles, a la reducción de costes de fabricación y al avance en el diseño de turbinas más potentes y eficientes. Por tanto, el escenario del presente trabajo se sitúa en el núcleo de esta expansión y se ubica en el lugar idóneo para el avance de este tipo de subestructuras.

### 1.3.1.2 Previsiones

Las previsiones para este sector en los próximos años apuntan a un crecimiento exponencial. Según estimaciones de BloombergNEF y 4C Offshore para el Offshore Wind Market de 2024 de 2024 [4], la capacidad instalada en todo el mundo podría alcanzar los 490 GW en 2035, lo que supone multiplicar por cinco la capacidad actual. Dentro de este contexto, se espera que China represente entre el 24-38 % de ese total, mientras que Europa podría mantener hasta el 51 % de producción, consolidando su posición mundial. En paralelo, estudios de universidades europeas, como la Universidad Técnica de Delft [14], coinciden en que las cimentaciones tipo jacket seguirán siendo una de las opciones más utilizadas en ubicaciones con profundidades comprendidas entre 30 y 60 m. Esto se debe a que, en muchos casos, las cimentaciones tipo jacket ofrecen mayor seguridad tanto en la fase de diseño como durante toda su vida útil, frente a otras soluciones de la misma tipología. De hecho, el informe técnico realizado por la universidad holandesa anteriormente citada, compara directamente dos posibles alternativas para una misma cota, cuyos resultados se resumen en la siguiente Tabla 1 y refuerzan la relevancia de las estructuras tipo jacket como una solución de referencia en emplazamientos de profundidad intermedia.

Tabla 1. Resultados de la comparación del informe universitario

Parámetros	Jacket (4 patas)	Trípode
Profundidad (m)	50	50
Peso total (T)	1100	1351
Coste estimado (€)	3.35M	3,53M

## 1.3.2 Aerogeneradores

Un aerogenerador es una turbina eólica, frecuentemente de eje horizontal, instalada sobre una subestructura fija o flotante, en el caso de la eólica offshore. Este dispositivo está diseñado para transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica.

### 1.3.2.1 Tipos de aerogeneradores

Los aerogeneradores se pueden clasificar en distintas categorías en función de diversos factores. En este trabajo, se seguirán los criterios de clasificación explicados en [15] y que se pueden enumerar según:

#### 1.3.2.1.1 Disposición del eje de giro



Figura 7. Disposición de eje de giro de los aerogeneradores

#### 1.3.2.1.2 Número de palas

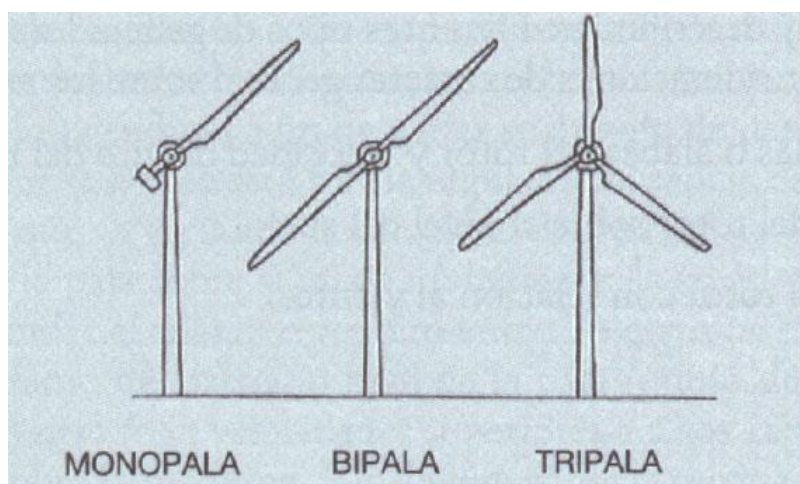


Figura 8. Configuraciones de número de palas en aerogeneradores horizontales

#### 1.3.2.1.3 Velocidad del rotor

1. Velocidad constante
2. Velocidad variable o semivariable
3. Dos velocidades

#### 1.3.2.1.4 Control y regulación

1. Control por pérdida aerodinámica: ángulo de pala provoca pérdida a partir de una velocidad determinada
2. Control por pérdida activa aerodinámica: las palas son capaces de ajustar su ángulo de inclinación provocando una pérdida controlada.
3. Control por variación del ángulo del paso de pala: las palas son capaces de girar sobre su eje para justar su ángulo de inclinación de manera continua.

#### 1.3.2.1.5 Generador eléctrico

1. Generador asíncrono con rotor en jaula de ardilla
2. Generador asíncrono con rotor bobinado doblemente alimentado
3. Generador síncrono multipolo

#### 1.3.2.1.6 Emplazamiento

1. Aerogeneradores para emplazamientos terrestres (onshore)
2. Aerogeneradores para emplazamientos marinos (offshore)

#### 1.3.2.1.7 Tipo de viento

1. Aerogeneradores para vientos de clase I
2. Aerogeneradores para vientos de clase II
3. Aerogeneradores para vientos de clase III

#### 1.3.2.1.8 Interconexión con la red eléctrica

1. Sistemas eólicos aislados, con o sin energía auxiliar
2. Sistemas eólicos interconectados con red eléctrica

#### 1.3.2.1.9 Según su potencia nominal

1. Microturbinas eólicas (< 5 KW)
2. Mini turbinas eólicas (5 - 100 KW)
3. Turbinas de media y gran potencia (100 - 1000 KW)
4. Turbinas multimegavatios ( 1000 - 5000 KW)

### 1.3.2.1.10 Tipos de sistemas de producción

Se distinguen dos sistemas básicos de producción eolieléctrica:

#### 1.3.2.1.10.1 Sistemas aislados o 'en isla'

Suele emplearse en sistemas de pequeños aerogeneradores (menores a 100 KW) y sirve para atender a la demanda eléctrica de núcleos aislados. Al no estar interconectados directamente con la red eléctrica, se deben prever sistemas auxiliares de almacenamiento de energía, tales como baterías eléctricas o sistemas físicos para los periodos de calma o baja intensidad de viento. Además, suelen poseer un generador eléctrico síncrono accionado directamente por la turbina eólica sin necesidad de uso de caja de engranajes.

#### 1.3.2.1.10.2 Parques eólicos

Los parques eólicos actúan de forma similar a una central eléctrica y están formados por un conjunto de aerogeneradores para la producción de energía eléctrica. Cabe destacar que presentan una inversión superior a los ubicados en tierra, a pesar de que los avances tecnológicos permiten una paulatina reducción de dicha inversión. Sin embargo, el potencial que presentan frente a los terrestres es mucho mayor, ya que la capacidad de producción en conjunto es notablemente superior por la mayor regularidad y capacidad del recurso eólico.

### 1.3.2.2 Principios del funcionamiento de la turbina eólica

El funcionamiento de todos los aerogeneradores horizontales se rige por el mismo principio aerodinámico. Este principio es similar al que usan los aviones para poder volar. Cuando el viento incide de forma perpendicular sobre las palas como se muestra en la Figura 9, se genera una diferencia de presión entre el lado superior, el lado inferior debido a la curvatura y el ángulo de ataque de cada pala que produce dicha fuerza. Además, las palas tienen unos perfiles aerodinámicos que incrementan el efecto de este fenómeno.



Figura 9. Comportamiento aerodinámicos de las palas de un aerogenerador (Fuente: [16])

Este fenómeno está regido por la ecuación de Bernoulli; pero dado que el perfil aerodinámico se encuentra a igual cota, es decir,  $h_1 = h_2$ , los términos de energía potencial gravitatoria se anulan, simplificándose la ecuación a:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (1.3)$$

donde:

- $\rho$ : densidad del aire
- $p_1$ : presión en la cara inferior del perfil (pasiva)
- $p_2$ : presión en la cara superior del perfil (activa)
- $v_1$ : velocidad del flujo en la cara pasiva (inferior)
- $v_2$ : velocidad en la cara activa (superior)

De este modo se cumple que  $p_1 > p_2$  y  $v_1 < v_2$ . Esta diferencia de presiones genera la sustentación que permite el funcionamiento aerodinámico del perfil.

Algunos aerogeneradores incorporan mecanismos de paso variable, lo que les permite ajustar el ángulo de ataque de las palas. Gracias a esta tecnología, es posible generar sustentación incluso bajo condiciones ambientales de vientos débiles.

Mediante este principio físico aprovechado, los aerogeneradores transforman la energía cinética del viento en energía rotacional útil. Esta rotación, a su vez, es convertida en energía eléctrica. La potencia asociada al flujo de viento puede expresarse como:

$$P_{\text{viento}} = \frac{E_k}{t} = \frac{1}{2}\rho A v^3 \quad (1.4)$$

donde:

- $E_k$ : energía cinética del viento
- $A$ : área barrida por el rotor (superficie circular)
- $v$ : velocidad del viento

Esta expresión muestra que la potencia del viento depende directamente de tres parámetros fundamentales:

1. Densidad del aire
2. Área barrida por las palas
3. Velocidad del viento

Sin embargo, no toda esta potencia es aprovechable. El viento pierde parte de su energía al interactuar con las palas, debido a que se frena parcialmente. Es por lo que su aprovechamiento viene limitado por el coeficiente de Betz, situando la eficiencia teórica máxima en torno al 59,3% de aprovechamiento. Por el contrario, si se extrajera toda la energía, el aire se detendría y no habría flujo continuo.

Así, la potencia útil extraída del viento por el rotor se expresa como:

$$P_{\text{útil}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (1.5)$$

La eficiencia real de los aerogeneradores viene determinada por la suma de las pérdidas producidas, siendo estas: pérdidas aerodinámicas, pérdidas mecánicas, pérdidas eléctricas y las pérdidas anteriormente comentadas del uso del viento, situando el rendimiento final en torno al 50% de eficiencia nominal.

Si se retoma la expresión de la potencia útil de la ecuación (1.5), vemos que esta depende también del área circular que recorren las palas del rotor. Esto implica que, al aumentar la longitud de las palas, se amplía dicha área y con ello la capacidad de generar energía eléctrica. Por este motivo, los aerogeneradores actuales tienden a tener dimensiones cada vez más grandes, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

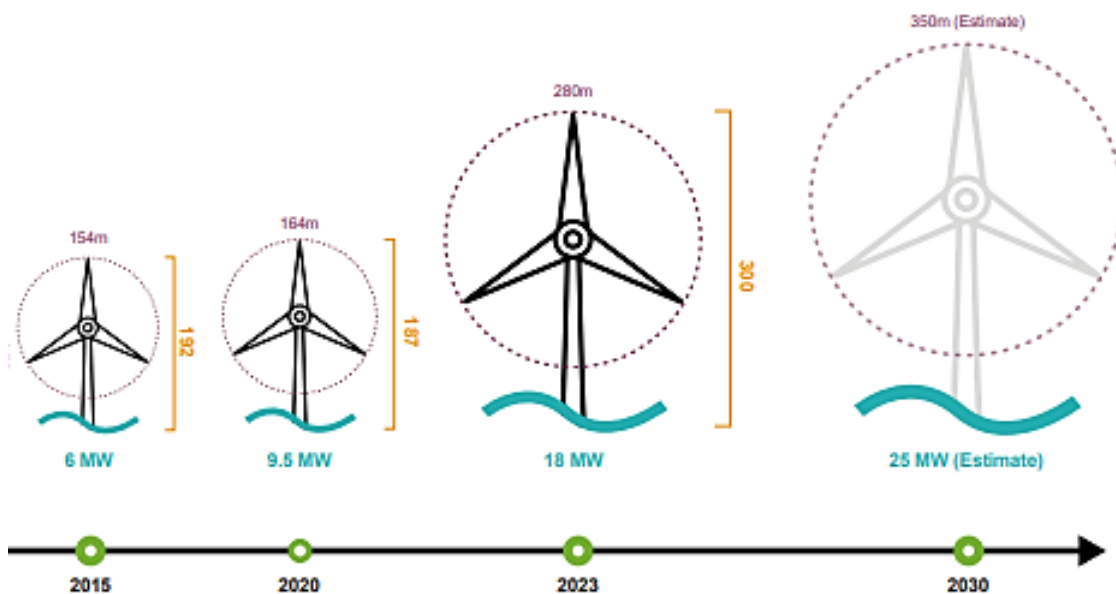


Figura 10. Evolución de los aerogeneradores con el tiempo (Fuente: [10])

### 1.3.2.2.1 Control de rotación de la turbina

El control de la rotación de la turbina eólica es un aspecto relevante para evitar posibles daños en el generador en caso de vientos muy intensos, como para permitir optimizar el rendimiento de la máquina y controlar la tensión y frecuencia de la energía eléctrica generada.

Las turbinas eólicas actuales disponen de varias velocidades características que determinan su funcionamiento y rango operativo. Se clasifican de la siguiente manera:

- **Velocidad de corte inferior:** es la velocidad mínima de viento (entre 3-4 m/s) a partir de la cual el aerogenerador comienza a girar y producir energía.
- **Velocidad nominal:** es la velocidad de viento por la que la turbina alcanza su potencia nominal.
- **Velocidad de corte superior:** a partir de esta velocidad (normalmente 25 m/s), la turbina se detiene por razones de seguridad estructural.

Estas velocidades se encuentran directamente relacionadas con la curva de potencia del aerogenerador, la cual representa gráficamente la potencia eléctrica generada en función de la velocidad del viento incidente. Para hacer frente a inestabilidades ambientales, ya sea ante vientos débiles que dificultan el arranque o como medida de seguridad en condiciones de viento excesivo, las palas incorporan un sistema de accionamiento, como se ha mencionado anteriormente. Estos actuadores generalmente de tipo hidráulico permiten orientar las palas hasta alcanzar una posición de 90° con respecto al flujo de aire. Esta acción permite reducir la carga la carga aerodinámica o incluso frenar totalmente el rotor en un corto periodo de tiempo.

### 1.3.2.1 Parámetros de funcionamiento

El comportamiento operativo de un aerogenerador se caracteriza mediante una serie de parámetros fundamentales que permiten evaluar su rendimiento energético y su adecuación al recurso eólico disponible en el emplazamiento. Estos parámetros son especialmente relevantes en el diseño y dimensionado de aerogeneradores offshore, ya que determinan las condiciones de carga a lo largo del ciclo de vida.

### 1.3.2.3.1 Factor de capacidad

El factor de capacidad es un parámetro adimensional que mide la eficiencia de producción energética de la turbina respecto a su potencia nominal durante un periodo de tiempo dado.

### 1.3.2.2 Componentes de un aerogenerador

Para poder entender mejor el funcionamiento de un aerogenerador, se mostrarán a continuación las distintas partes que lo forman, véase la Figura 11:

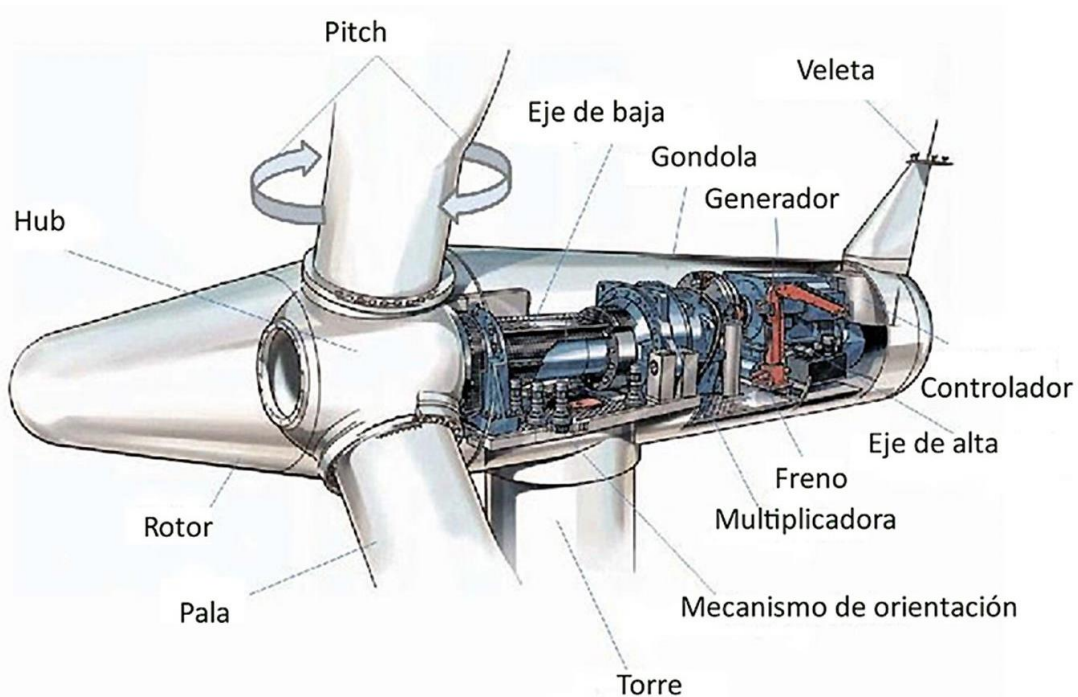


Figura 11. Partes de un aerogenerador (Fuente: [17])

- **Rotor:** es el sistema rotativo del aerogenerador, formado por las palas y el buje. Se encarga de recibir la energía cinética y transformarla en un movimiento rotativo, que se transmitirá luego al eje de bajas revoluciones.
- **Buje (hub):** es la parte del aerogenerador que une las palas y la que se acopla con el eje de baja velocidad, transmitiéndole su movimiento
- **Góndola (nacelle):** elemento situado en la parte más alta de la torre y que actúa como una carcasa para proteger y contener todos los equipos y sistemas encargados de generar electricidad y de la seguridad. Se sitúa siempre a sotavento.
- **Eje de baja (low speed shaft):** es el encargado de transmitir el movimiento rotativo del buje al multiplicador. El buje y el eje de bajas revoluciones giran a la misma velocidad.
- **Multiplicadora (gear box):** elemento formado por una serie de engranajes, que se sitúa entre el eje de bajas revoluciones y el de alta. Su función es la de aumentar las velocidades de giro, llegando al régimen al que se adapta el generador eléctrico instalado.

- **Eje de altas (high speed shaft):** eje situado entre la salida del multiplicador y el generador eléctrico. Suele girar a unas velocidades cercanas a las 1500 rpm, permitiendo de esta manera que el alternador funcione.
- **Generador eléctrico (generator):** es el dispositivo encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica alterna.
- **Sistema de seguridad:** formado por el circuito hidráulico y el freno, que se encargan de disminuir o parar el giro del rotor cuando sopla demasiado viento o por alguna avería.
- **Control electrónico (controller):** es el sistema encargado de almacenar todos los datos de los distintos dispositivos instalados en el aerogenerador, para poder detectar posibles incidencias o incorrectos funcionamientos.
- **Sistema de orientación (yaw mechanism):** es el encargado de orientar al aerogenerador hacia donde sopla el viento. Sistema activado por el control electrónico cuando recibe la dirección del viento gracias a la veleta (wind vane).
- **Torre (tower):** es el elemento encargado de soportar la góndola y el rotor. Normalmente las torres están hechas de acero, pero se puede usar otro material que sea capaz de soportar las cargas y los esfuerzos. Proporciona la altura necesaria para optimizar la captación del viento.

### 1.3.3 Cimentación

Un aspecto fundamental en la instalación de los aerogeneradores es la estructura de soporte o cimentación empleada. Su función es la de actuar como apoyo del aerogenerador para que este pueda realizar su función productiva y transmitir las cargas al terreno sobre el que se encuentra. Es por ello por lo que deben resistir todas las cargas y los esfuerzos generados sobre ellos. Además, en el caso de las cimentaciones en lechos marinos, han de tenerse en cuenta los efectos que el mar tiene sobre ellas y que afectan a su durabilidad, tales como la corrosión inducida por cloruros marino o a su dificultad de montaje.

Respecto a los aerogeneradores offshore, existen principalmente dos grupos: los que poseen una cimentación fijada al lecho marino y los que poseen soportes flotantes, véase la Figura 12.



Figura 12. Tipología de cimentación para aerogeneradores (Fuente:[18])

### 1.3.3.1 Tipos de cimentaciones

La selección de la tipología de cimentación a emplear en un aerogenerador marino depende de un conjunto de factores interrelacionados, los cuales se recogen esquemáticamente en el siguiente esquema:

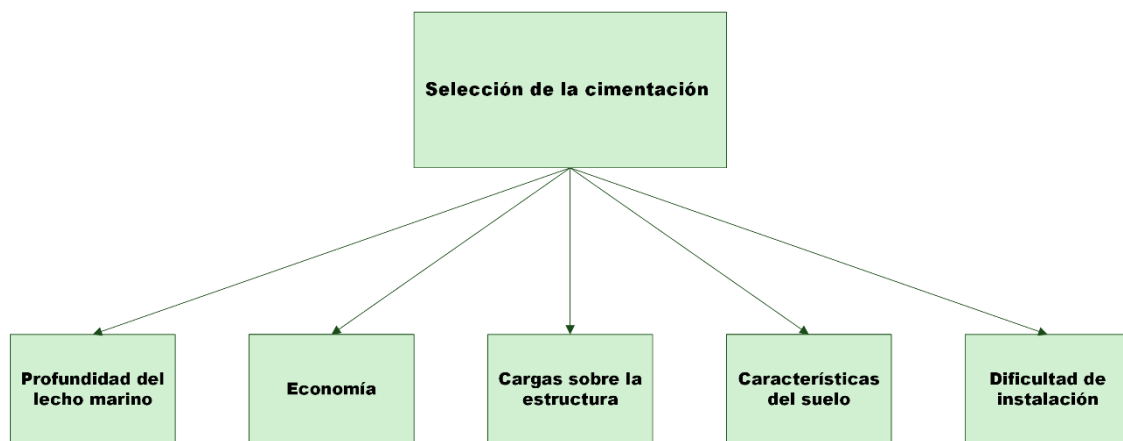


Figura 13. Esquema de factores decisivos en la elección de aerogeneradores

Una correcta integración de estos aspectos permite optimizar el diseño estructural y garantizar la viabilidad del proyecto.

#### 1.3.3.1.1 Cimentaciones fijas

Las cimentaciones fijas constituyen la solución estructural predominante en emplazamientos marinos de profundidades intermedias, según indica el Offshore Wind Market de 2024 [4]. Entre las tipologías de cimentación fija más frecuentes se encuentran los monopilotes, las estructuras tipo jacket, los soportes tripilote, trípodes y las cimentaciones por gravedad, representadas en la Figura 14.

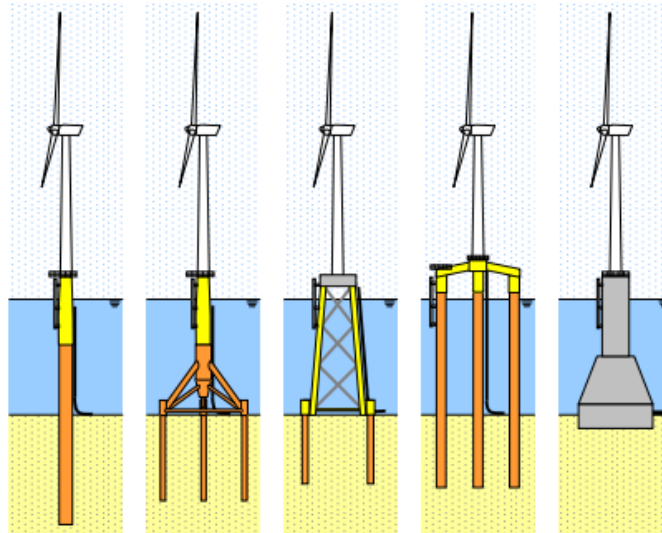


Figura 14. Tipologías de cimentaciones marinas fijas

A continuación, se hará una breve descripción de cada tipología siguiendo el orden mostrado en la anterior figura, con objeto de comentar sus características básicas y criterios de aplicación.

#### 1.3.3.1.1 Cimentación por monopilotes

La cimentación mediante monopilote consiste en la instalación de un pilote de sección cilíndrica hueca, hincado directamente en el lecho marino. Esta solución estructural es especialmente adecuada para terrenos blandos y suele alcanzar profundidades de hasta 40 metros. Sobre el monopilote se dispone una pieza de transición, la cual sirve de base para la instalación del aerogenerador.

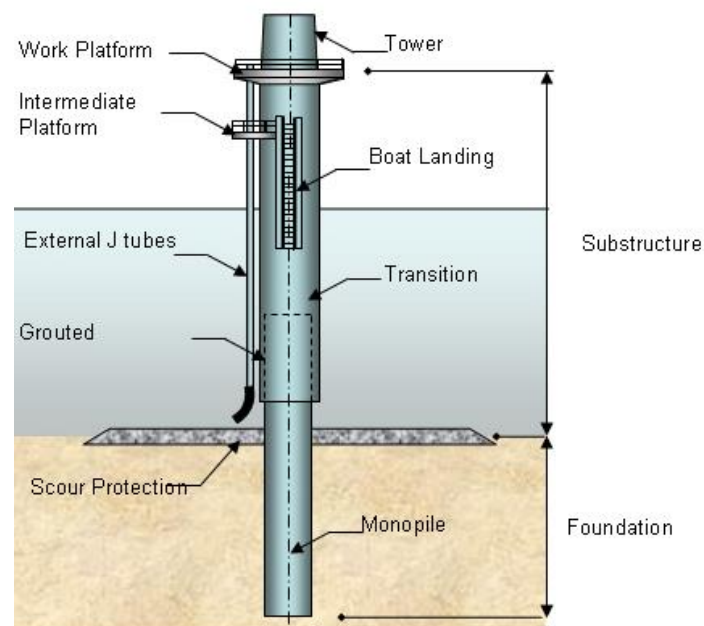


Figura 15. Cimentación por monopilote (Fuente: [19])

Su mayor hándicap es la profundidad, ya que a mayor profundidad, mayor ha de ser el tamaño del pilote, lo que aumenta su coste de fabricación y montaje. A pesar de ello, su simplicidad constructiva y amplia experiencia operativa los convierten en una solución preferente en parques eólicos marinos de poca a media profundidad.

#### 1.3.3.1.1.2 Cimentación por trípode

La cimentación por trípode destaca por tener una geometría formada por una columna central y tres puntos de anclaje al lecho marino. Estos últimos están formado por pilotes o vasos de succión y se encuentran conectados entre sí. En este tipo de configuración se favorece un mejor reparto de cargas al terreno y a una mejor estabilidad del conjunto.

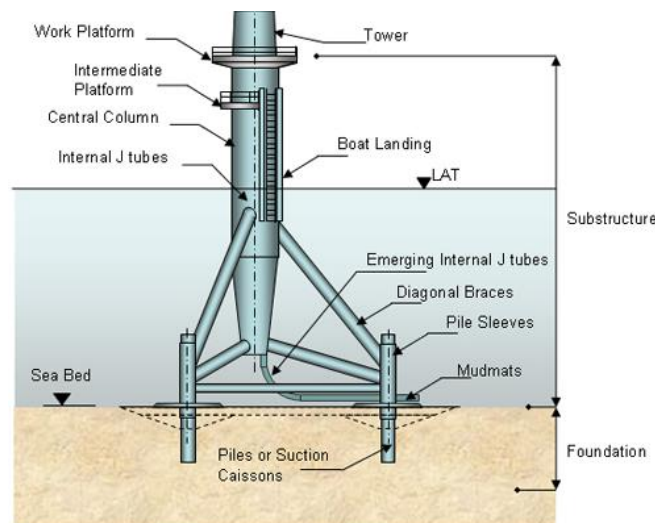


Figura 16. Cimentación por trípode(Fuente:[19])

En comparación con otras cimentaciones, este sistema presenta un coste mayor al monopilote, principalmente debido a la mayor complejidad geométrica, pero aun así presenta costes inferiores a los asociados a las subestructuras tipo jacket. Otro aspecto ventajoso es que no requiere acondicionamiento previo del terreno, lo que simplifica su instalación y resulta especialmente adecuado para suelos formados por arcillas rígidas o arenas de densidad media a alta, donde ofrece un buen comportamiento estructural y geotécnico.

#### 1.3.3.1.1.3 Cimentación por subestructuras tipo jacket

Este tipo de cimentación se caracteriza por una configuración estructural en celosía tridimensional, generalmente formada por tres o cuatro patas principales que se anclan al lecho marino mediante pilotes o vasos de succión. Su uso está recomendado en rangos de profundidad típicos entre 25 y 60 metros, donde los monopilotes dejan de ser eficientes.

A pesar de la complejidad asociada a su fabricación, montaje y mantenimiento, derivada del gran número de uniones soldadas y de la necesidad de una logística especializada para su transporte e instalación, este tipo de subestructura ofrece una mayor capacidad de adaptación frente a esfuerzos generados por las cargas ambientales.

Por otro lado, las barras trabajan principalmente a esfuerzos axiales, lo que permite aprovechar mejor el material utilizado. Otra ventaja significativa es la modularidad del diseño, que facilita su estandarización para parques eólicos y su posible adaptación a diferentes condiciones del terreno mediante ajustes en las dimensiones de los pilotes o en la geometría de las diferentes secciones que lo componen.

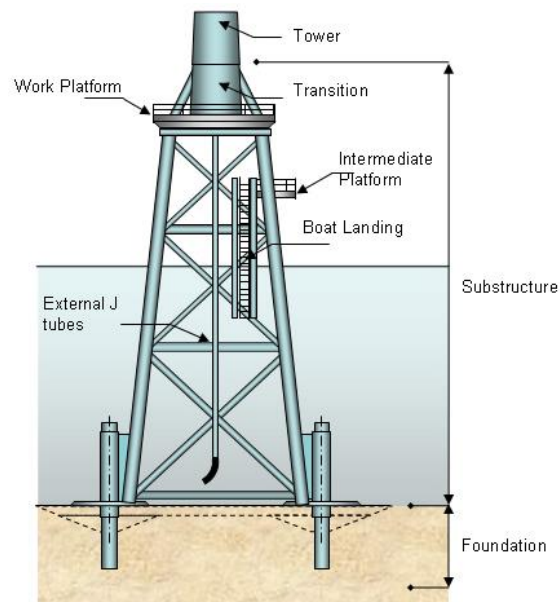


Figura 17. Cimentación por subestructura tipo jacket (Fuente: [19])

#### 1.3.3.1.1.4 Cimentación por tripilotes

Esta cimentación es una combinación del trípode y el monopilote. Tiene tres pilotes que convergen en la parte superior de la subestructura, en una pieza triangular que conecta la torre del aerogenerador tal y como se observa en la Figura 18.



Figura 18. Cimentación por tripilotes (Fuente: [20])

Su uso está comprendido para profundidades de agua de 25 y 50 metros y tiene la ventaja de que su capacidad para distribuir las cargas de forma eficiente hacia el terreno es alta. Esto le permite utilizar pilotes de menor diámetro, reduciendo así las cargas hidrodinámicas aplicadas y el material necesario para su construcción frente al monopilote tradicional.

#### 1.3.3.1.1.5 Cimentación por apoyo en gravedad

Este tipo de cimentaciones basan su estabilidad en la acción gravitatoria y suelen estar formados, en la mayoría de los casos, por una base de hormigón. De este modo presentan un menor coste frente al uso del acero, así como mejor comportamiento frente a los cloruros marinos. Además, suelen estar rellenas de material de balasto, que puede ser arena, rocas y mineral de hierro lo que permite reducir aún más el coste.

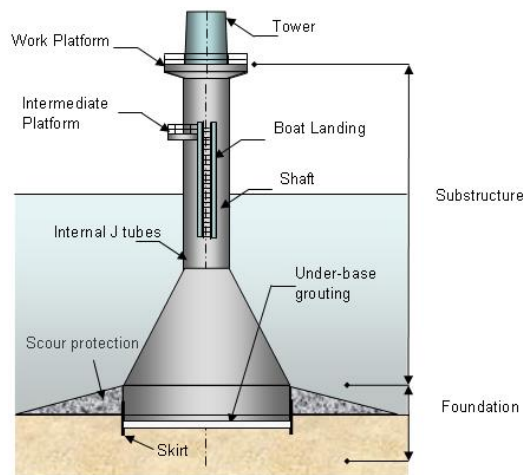


Figura 19. Cimentación por gravedad (Fuente: [19])

El diseño simple consiste en un eje central que actúa como pieza de transición para la instalación del aerogenerador y una base ancha con la que soporta las cargas laterales, manteniendo estable al aerogenerador. Su mayor hándicap es que está condicionada por la capacidad portante del terreno. Esto lleva a la necesidad de realizar una preparación previa del lecho marino, con el fin de eliminar las capas de sedimentos con menos capacidad portante.

Por otro lado, su principal limitación radica en que su uso resulta adecuado únicamente en emplazamientos de poca profundidad, generalmente hasta unos 30 metros máximo desde la lámina de agua. A mayores profundidades, la necesidad de incrementar la cantidad de material para garantizar su estabilidad y rigidez conlleva a un aumento considerable de los costes, lo que reduce su viabilidad técnica y económica frente a otras tipologías.

### 1.3.3.1.2 Cimentaciones flotantes

Las cimentaciones flotantes constituyen la solución estructural predominante en emplazamientos marinos de gran profundidad, donde la instalación de subestructuras fijas no resulta viable técnica ni económicamente [4]. Entre ellas destacan las cimentaciones: tipo Barge, tipo Spar, tipo Semi-sumergible y tipo plataforma tensionada, como se puede ver en Figura 20.

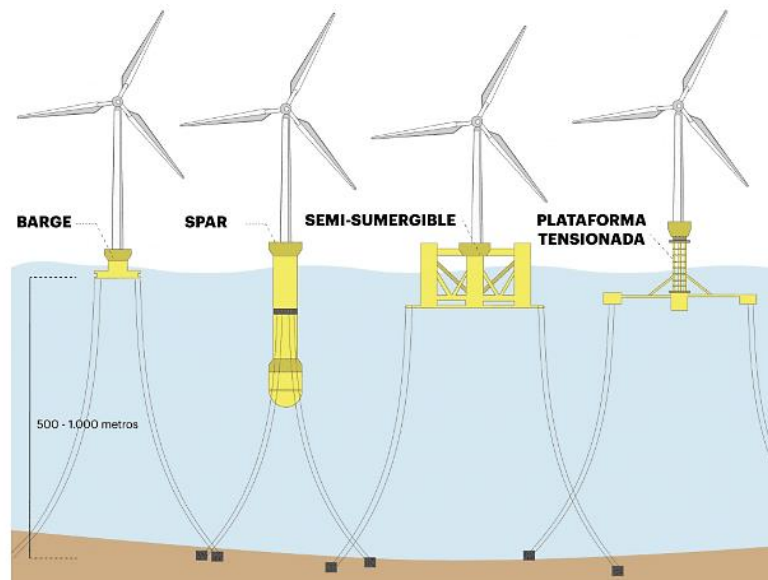


Figura 20. Tipología de cimentación marina flotante (Fuente:[21])

#### 1.3.3.1.2.1 Cimentación tipo barge

Una de las principales características de las cimentaciones flotantes tipo barge es el uso de plataformas de gran tamaño, lo que les proporciona una alta flotabilidad y una mayor estabilidad frente a las condiciones marinas. Estas estructuras se mantienen en posición mediante sistemas de anclaje compuestos por líneas de amarre en forma de catenaria, que las fijan al fondo marino sin requerir ningún tipo de cimentación. [22]

#### 1.3.3.1.2.2 Cimentación tipo spar

Las cimentaciones flotantes tipo Spar están formadas por un cilindro vertical de gran esbeltez, construido en acero o en hormigón y lastrado habitualmente con agua o arena para desplazar el centro de gravedad por debajo del centro de flotación. Esta configuración permite dotar al sistema de una mayor estabilidad frente a las solicitaciones ambientales y reduciendo los movimientos del aerogenerador. El sistema se mantiene en posición mediante un conjunto de líneas de amarre en forma de catenaria, que lo anclan al lecho marino.

Este tipo de cimentación suele aplicarse en profundidades superiores a los 100 metros, aunque actualmente sigue siendo una solución en fase de desarrollo y optimización tecnológica.

#### *1.3.3.1.2.3 Cimentación tipo semi-sumergible*

Las cimentaciones flotantes tipo semi-sumergible están formadas por varias columnas (normalmente tres) parcialmente sumergidas, unidas entre sí mediante brazos horizontales formando así una estructura rígida. Estas columnas proporcionan la flotabilidad y la estabilidad necesarias para mantener el aerogenerador en equilibrio sobre el agua. La estructura se ancla al lecho marino mediante líneas de amarre, generalmente dispuestas en forma de catenaria o utilizando tensores. [23]

Una característica importante de esta tipología es su sensibilidad a las condiciones marítimas. Debido a la forma en la que trabaja, no resulta la opción más adecuada en ubicaciones con oleaje intenso o condiciones meteorológicas extremas, ya que el movimiento excesivo de la plataforma podría afectar negativamente al rendimiento y seguridad del aerogenerador.

#### *1.3.3.1.2.4 Cimentación tipo plataforma tensionada*

Este tipo de cimentación está formada por una plataforma que incorpora una columna central de gran tamaño, conectada a través de brazos estructurales a varios tensores anclados al lecho marino. Estos tensores, fabricados habitualmente en acero macizo de alta resistencia, permanecen constantemente en tensión, lo que proporciona al sistema una elevada estabilidad vertical y control de los movimientos.

Se suele utilizar en profundidades a partir de los 50 metros y resulta especialmente eficaz en entornos donde se requiere limitar los desplazamientos verticales de la estructura. Sin embargo, uno de sus principales inconvenientes es la complejidad del sistema de anclaje, que limita su instalación a determinadas condiciones geotécnicas del fondo marino.

## 1.4 Normativa

A lo largo del siguiente apartado se presentará la normativa y se clasificarán en dos grandes grupos: un primer grupo donde se engloban las normas y disposiciones de obligado cumplimiento que conciernen a este trabajo, y un segundo grupo donde se recogen todas aquellas normativas y estándares recomendados para una buena práctica en el ámbito eólico offshore.

### 1.4.1 Normativa aplicada

Tal y como se ha mencionado en apartados anteriores, el objeto del presente trabajo es el cálculo y diseño estructural de una subestructura tipo jacket para aplicaciones en entornos marinos. Por esta razón, en este epígrafe se recopila y detalla toda la normativa técnica que resultan de aplicación, conforme a estándares nacionales e internacionales, necesarios para llevar a cabo dicha tarea.

- DNVGL-RP-C202 (2017). Buckling strength of shells: aborda la evaluación de la resistencia al pandeo (inestabilidad local) de cilindros y perfiles tubulares.
- DNVGL-RP-C203 (2016). Fatigue design of offshore steel structures: establece la práctica a seguir para el análisis a fatiga en estructuras marinas de acero sometidas a cargas cíclicas, como las generadas por el viento, las olas y el funcionamiento de la turbina.
- DNVGL-RP-C205 (2017). Environmental conditions and environmental loads: establece los criterios técnicos y metodologías de evaluación de las condiciones ambientales y las cargas que estas generan sobre estructuras marinas.
- DNVGL-ST-0126 (2016). Support structures for wind turbines: Cubre aspectos como cargas, combinaciones de carga, materiales, métodos de análisis y criterios de seguridad estructural.
- DNVGL-ST-0437 (2016). Loads and site conditions for wind turbines: establece los criterios para la definición de cargas ambientales (viento, oleaje, corrientes) y otras condiciones del emplazamiento.
- IEC 61400-1 (2020). Wind turbines – Part 1: Design requirements: establece la normativa base para el diseño de aerogeneradores, tanto onshore como offshore. Además, establece los principios fundamentales para el cálculo de cargas, clasificación del aerogenerador según clase, factores de seguridad, y criterios de diseño frente a fatiga, estabilidad y carga extrema.
- IEC 61400-3 (2021). Wind turbines – Part 3: Design requirements for offshore wind turbines: especifica los requisitos de diseño para aerogeneradores instalados en cimentaciones fijas en el mar.

#### 1.4.2 Otros estándares y normas de aplicación en el ámbito del diseño y construcción de estructuras para la eólica offshore

- DNVGL-ST-0119, Floating wind turbine structures (2021).
- DNVGL-OS-B101, Metallic materials (2015).
- API RP 2A-WSD, Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms (2007).
- UNE-EN ISO 19902 (2020), Estructuras fijas de acero en alta mar.
- UNE-EN 1090-1 (2011) + A1 (2012), Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 1: Requisitos para la evaluación de la conformidad de los componentes estructurales.
- UNE-EN ISO 5817 (2023), niveles de calidad para imperfecciones en uniones soldadas.
- UNE-EN ISO 15614-1 (2018), Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Ensayo de procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldero por arco y con gas de aceros y soldeo por arco de níquel y sus aleaciones.
- UNE-EN-ISO 9606-1 (2017), Cualificación de soldadores. Soldero por fusión.

## 1.5 Requisitos de diseño

### 1.5.1 Emplazamiento

#### 1.5.1.1 Ubicación

El emplazamiento considerado en el artículo de Couceiro et al. [8] se sitúa en el entorno marino de la costa atlántica europea, concretamente en aguas fronterizas entre Países Bajos y el Reino Unido, como se puede observar en la Figura 21. Esta zona que presenta condiciones ambientales exigentes, pero también un alto potencial para el desarrollo de energía eólica marina y se caracteriza por la presencia de profundidades relativamente uniformes, comprendidas en su mayoría entre los 30 y 60 metros, un recurso eólico significativo debido a la persistencia de los vientos marinos y a una infraestructura industrial consolidada, que favorece tanto la fabricación como la logística durante la instalación de los parques.

La ubicación exacta del aerogenerador se detalla en la Tabla 2, donde se presentan las coordenadas geográficas en formato DMS (grados, minutos y segundos). También se incluye la profundidad del emplazamiento y la distancia a la costa más cercana, correspondiente al litoral de Países Bajos.



Tabla 2. Ubicación exacta del aerogenerador

Ubicación del aerogenerador	
Latitud	53°13'04.0"N
Longitud	3°13'13.0"E
Profundidad	50 m
Distancia	100 km

Figura 21. Ubicación seleccionada (Fuente: [14])

Es importante destacar que es una ubicación estratégica desde el punto de vista de integración en red, ya que forma parte del corredor energético del Mar del Norte, identificado por la Unión Europea como prioritario para la transición energética y donde se ubica uno de los principales nodos de interconexión eléctrica de Europa [24].

### 1.5.1.2 Cargas ambientales

Las condiciones meteorológicas de este lugar son de acceso público a través del Instituto Nacional Holandés de Gestión Costera y Marina. Extrayendo la información, y analizando los criterios establecidos en el estándar DNVGL-ST-0437 [25], la norma IEC 64001-3 [26] y el estándar DNV-OS-J101 [27] se obtiene la casuística necesaria para caracterizar el entorno, así como las variables requeridas para el análisis.

#### 1.5.1.2.1 Combinaciones de casos de carga empleados

Para el desarrollo de este trabajo y con el objetivo de simplificar el análisis, se han seleccionado tan solo los escenarios de carga más representativos para el diseño de cimentaciones marinas fijas, como se describe en el siguiente artículo [28].

Para una mejor comprensión de este aspecto se describirá de manera detallada la nomenclatura de los distintos estados de carga de viento y olas considerados en el estudio.

##### 1.5.1.2.1.1 Estados de carga del viento ( $U$ )

- **U-1 (Turbulencia normal):** En este escenario, el viento incide sobre el aerogenerador a su velocidad nominal de operación ( $U_R$ ) y con una turbulencia normal “Normal Turbulence Model” (NTM). Bajo estas condiciones, las variaciones de velocidad y dirección del viento se encuentran dentro de los niveles habituales de servicio, de modo que el rotor opera atendiendo a un régimen de funcionamiento estable, en donde los sistemas de control pueden responder a las fluctuaciones sin dificultades significativas.
- **U-2 (Turbulencia extrema):** En este escenario, el viento continúa actuando a la misma velocidad nominal ( $U_R$ ), pero ahora se introduce un nivel de turbulencia más elevado “Extreme Turbulence Model” (ETM). Este modelo genera ráfagas y vórtices de mayor intensidad y frecuencia con respecto al NMT, simulando condiciones atmosféricas más severas, como aquellas que pueden darse durante tormentas o frentes activos.
- **U-3 (Ráfaga extrema):** En este escenario, se considera nuevamente que el viento incide a la velocidad nominal de operación ( $U_R$ ), pero en esta ocasión se introduce una ráfaga extrema de operación (EOG, “Extreme Operating Gust”) en 50 años que golpea bruscamente el rotor y, en consecuencia, la torre y la subestructura. Se asume que la ráfaga de viento alcanza la intensidad máxima de forma lo

suficientemente súbita como para que los sistemas de control no dispongan de tiempo suficiente para ajustar el ángulo de las palas.

#### 1.5.1.2.1.2 Estados de carga del oleaje (*W*)

- **W-1 (Estado extremo del mar en periodo de un año):** En este escenario, se asume que la ola incidente posee una altura equivalente a la máxima altura significativa registrada durante un año “Extreme Sea State” (ESS). Este estado permite evaluar la respuesta del jacket ante el oleaje más representativo durante la operación normal en condiciones meteorológicas adversas, sin alcanzar los valores extremos de diseño. ( $H_{s,1}$ )
- **W-2 (Altura extrema de la ola en periodo de un año):** En este segundo escenario, la ola incidente se define por la altura máxima registrada en un año “Extreme Wave Height” (EWH). Esta ola máxima supone un pico puntual de presión sobre las barras en las que incide. ( $H_{max,1}$ )
- **W-3 (Estado extremo del mar en periodo de 50 años):** Para este escenario, la ola incidente se asume con estado “Extreme Wave Height” (EWH), pero esta vez para una ola registrada en un periodo de 50 años. Al emplear este espectro de oleaje, se generan cargas significativamente superiores al caso anterior W-2, permitiendo verificar la resistencia y ductilidad del jacket ante sollicitaciones hídricas de mayor magnitud. ( $H_{s,50}$ )

Todos estos estados de carga se combinan entre sí para dar lugar a los diferentes escenarios de estudio. Estos escenarios, extraídos de la normativa (véase el apartado 1.5.1.2), son los siguientes:

- **E-1: condiciones normales de operación:** En este escenario de carga, el jacket se somete a las sollicitaciones típicas, producidas durante el funcionamiento nominal del aerogenerador. El viento actúa a la velocidad nominal de funcionamiento del aerogenerador y acompañado de un régimen de turbulencia normal (U-1), que reproduce las fluctuaciones propias de operación. El oleaje se modela mediante un estado extremo del mar previsto para 1 año (W-1) y generando un espectro moderado de alturas de olas.

- **E-2: carga extrema de oleaje:** En este segundo escenario de carga, el viento mantiene la velocidad nominal de funcionamiento del aerogenerador, aunque esta vez, bajo un régimen de turbulencia extrema (U-2), reproduciendo ráfagas de mayor intensidad y variabilidad, propias de un temporal moderado. En cuanto al oleaje, se incrementa hasta un estado extremo previsto para 50 años (W-3), lo que genera picos de presión y succión significativamente superiores a los habituales en la superficie de los elementos tubulares.
- **E-3: carga extrema de viento:** En este tercer escenario de carga, el viento actúa a la velocidad nominal de funcionamiento del aerogenerador, pero con un nivel más exigente que el anterior en cuanto a turbulencia extrema (U-3), correspondiente a un temporal significativo. El oleaje se mantiene en un estado extremo, pero esta vez para un periodo de retorno de 1 año (W-2).

Como se ha visto en los puntos anteriores, se asume, por simplicidad, que las condiciones de oleaje son independientes de las condiciones de viento. Sin embargo, esta hipótesis no representa exactamente la realidad del entorno marino, donde es habitual que las tormentas generen de forma simultánea intensos campos de viento y oleaje significativo. A pesar de ello, dicha aproximación resulta aceptable y en muchos casos conservadora desde el punto de vista del diseño estructural. Esto se debe a que las cargas máximas generadas por el viento extremo suelen producirse en torno a la velocidad de corte, justo cuando el rotor detiene su funcionamiento y reduce las cargas producidas, mientras que las posibles combinaciones con oleaje extremo se asocian generalmente a vientos inferiores a dicha velocidad de corte. Esta suposición ha sido empleada, por ejemplo, por Arany et al. [29], que justifica su validez dentro del marco de diseño basado en condiciones extremas no simultáneas.

También es importante destacar que las direcciones de incidencia de las cargas ambientales no son siempre colineales. En la práctica, puede existir una desalineación entre ambas de hasta  $90^\circ$ , como se puede ver en la Figura 22. Esta condición de desalineación se tendrá en cuenta en los distintos casos de estudio, con el fin de reflejar adecuadamente los efectos combinados.

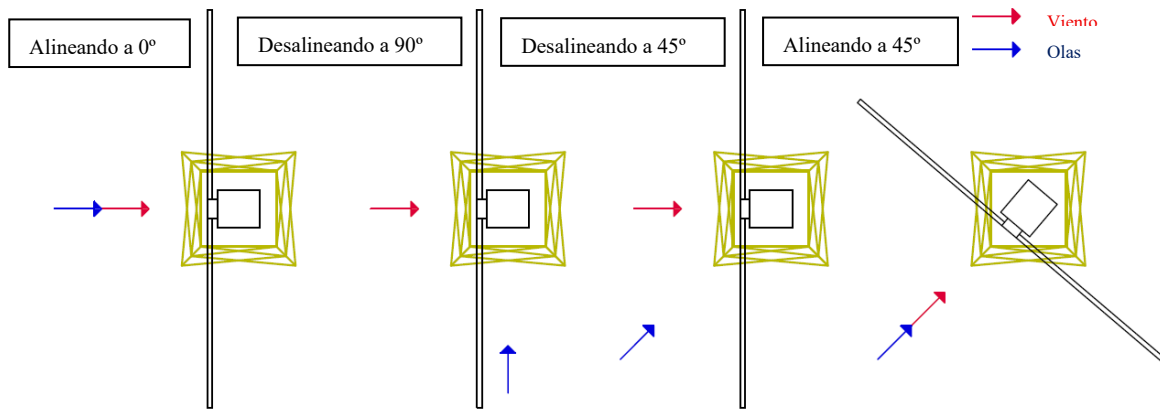


Figura 22. Ángulos de incidencia de las cargas ambientales (Fuente: [30])

A continuación, la siguiente Tabla 3 recoge de forma resumida las distintas hipótesis de carga descritas en los puntos anteriores.

Tabla 3. Resumen de los estados de carga de estudio

Escenario	Tipo de carga	Modelo de viento	Modelo de oleaje	Designaciones
E-1	Condiciones normales de operación	NTM, a velocidad nominal	ESS, estado extremo a 1 año	U1 + W1
E-2	Carga extrema de oleaje y gran turbulencia	ETM, a velocidad nominal	EWH, altura extrema a 50 años	U2 + W3
E-3	Carga extrema de viento y oleaje	EOG, a velocidad nominal	EWH, altura extrema a 1 año	U3 + W2
Todo los escenarios de carga son aplicados a estos diferentes ángulos de incidencia:				
Alineado 0°	Alineado 45°	Desalineado 45°	Desalineado 90°	

Estos tres escenarios de carga son los que han sido implementadas en todas las simulaciones del software, introduciendo modelos cinemáticos del oleaje para la evaluación hidrodinámica de la subestructura y, de forma análoga, con las condiciones de viento.

### 1.5.1.2.2 Características ambientales de la ubicación

En este apartado se recopilan los principales parámetros ambientales del emplazamiento, con el fin de garantizar que el diseño de la subestructura se adapte adecuadamente a las condiciones reales del entorno. El desarrollo teórico que sustenta estos valores se encuentra explicado en el apartado 1.6.2 del presente documento.

Tabla 4. Resumen de las condiciones de viento del emplazamiento

Condición	Velocidad	Turbulencia
Viento normal ( $W_1$ )	11,4 m/s	Turbulencia normal (NMT)
Viento normal ( $W_2$ )	11,4 m/s	Turbulencia extrema (EMT)
Viento extremo ( $W_3$ )	11,4 m/s	Ráfaga extrema (EOG)

Tabla 5. Resumen de las condiciones de oleaje del emplazamiento

Condición	Altura	Símbolo	Periodo	Símbolo
ESS – 1 año	6,6 m	$H_{S,1}$	9,15 s	$T_{S,1}$
EWB – 1 año	12,4 m	$H_{m,1}$	12,49 s	$T_{m,1}$
EWB – 50 años	15,33 m	$H_{m,50}$	13,86 s	$T_{m,50}$

### 1.5.1.2.3 Estados límite

El dimensionado de la subestructura se basará en los casos más desfavorables, con el objetivo de asegurar que no se alcancen en ningún momento los Estados Límites (EL). Estos estados representan aquellas situaciones a partir de las cuales la estructura dejaría de cumplir con la función para la que fue proyectada y son:

- **Estados Límite Último (ELU):** Situaciones en las que la estructura alcanza el máximo de su capacidad resistente, lo que podría llevar al colapso total o parcial de la misma. Este tipo de estado incluye casos como la deformación plástica del material o la pérdida de estabilidad de alguno de sus elementos estructurales. El objetivo es asegurarse de que, incluso en las condiciones de carga más exigentes, la estructura siga siendo segura y funcional.
- **Estados límite de Servicio (ELS):** Situaciones en las que, sin llegar a producirse un fallo estructural, la estructura deja de comportarse como se espera. Esto puede deberse, por ejemplo, a deformaciones excesivas, giros no admisibles o movimientos que afecten al funcionamiento del aerogenerador. El objetivo es garantizar que, durante su vida útil, la estructura mantenga un comportamiento adecuado, sin comprometer la operatividad.

- **Estados Limite de Fatiga (ELF):** Situaciones donde se produce la degradación progresiva de la estructura debido a la acción repetida de cargas cíclicas a lo largo del tiempo. Aunque estas cargas no superen los valores máximos admisibles en otros estados, su efecto acumulado puede provocar la aparición de fisuras o daños locales que, con el tiempo, afecten a la integridad del conjunto. El objetivo es asegurar que la estructura pueda soportar la cantidad prevista de ciclos de carga durante su vida útil sin que se produzcan fallos por fatiga.

Estos conceptos y su aplicación concreta se explicarán en detalle más adelante, al abordar los casos de estudio.

### 1.5.2 Aerogenerador empleado

El aerogenerador considerado en este trabajo y sobre el que se diseña toda la estructura es el modelo de 5 MW desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), ampliamente utilizado como modelo referencia en estudios de energía eólica.

Se trata de una turbina de eje horizontal de tres palas, control de velocidad variable y un sistema de paso colectivo, con el que se regula el ángulo de las palas. La transmisión de potencia se realiza mediante una caja multiplicadora de varias etapas, que se conecta a un generador de alta velocidad [6].

Las características técnicas más relevantes del aerogenerador son:

Tabla 6. Características principales del aerogenerador

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Diámetro del rotor	126	m	Diámetro total del rotor
Radio por pala	63	m	Longitud de cada pala
Velocidad de giro	6,9 – 12,1	rpm	Velocidad de rotación
Velocidad de arranque	3	m/s	Velocidad para iniciar operación
Velocidad nominal	11-13	m/s	Velocidad para potencia nominal
Velocidad de corte	25	m/s	Velocidad de detención por seguridad
Altura del buje	90,55	m	Altura total del buje
Masa del rotor	110.000	Kg	Masa del conjunto de palas y buje
Masa de la góndola	240.000	Kg	Masa del conjunto de la góndola
Masa de la torre	347.460	Kg	Masa total de la torre
Masa total	697.500	Kg	Suma total de todas las masas

En cuanto a las propiedades del acero empleado se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 7. Principales propiedades del material del aerogenerador

Propiedades del acero	NREL 5MW
Módulo de Young [E] (GPa)	210
Módulo de cizalladura [G] (GPa)	80,8
Densidad [ $\rho$ ] (Kg/m <sup>3</sup> )	8500

En la Figura 23 se recoge la curva de potencia del aerogenerador, que muestra cuánta energía eléctrica es capaz de generar según la velocidad del viento que recibe. Esta información es muy útil porque permite estimar cuánta energía puede producir la turbina en un lugar concreto, en función del recurso eólico disponible. Además, ayuda a identificar los puntos clave de funcionamiento del aerogenerador, como la velocidad mínima a la que empieza a generar electricidad, la velocidad a la que alcanza su máxima potencia y aquella en la que se detiene por seguridad.

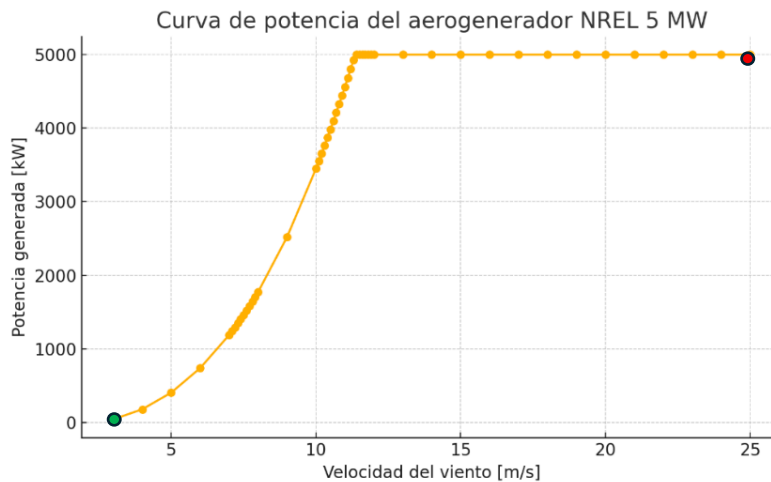


Figura 23. Curva de potencia del aerogenerador (Fuente: [31])

En la curva de potencia del aerogenerador NREL de 5 MW se observa que la turbina comienza a generar energía a partir de una velocidad de viento de aproximadamente 3 m/s (punto verde). A medida que la velocidad del viento aumenta, la potencia generada también lo hace, hasta alcanzar su valor máximo de 5000 kW alrededor de los 11,4 m/s. A partir de ese punto, la turbina mantiene su potencia nominal constante hasta una velocidad cercana a los 25 m/s (punto rojo), momento en el cual se llega a la velocidad de corte y el aerogenerador se detiene.

### 1.5.3 Subestructura empleada

La elección y el dimensionamiento de la subestructura son aspectos clave para garantizar la viabilidad técnica y económica de un proyecto, sobre todo en ubicaciones donde la profundidad del agua descarta otras soluciones más convencionales.

En el presente trabajo, correspondiente a una subestructura tipo jacket de cuatro patas y anclada mediante pilotes aislados, se adopta la propuesta desarrollada por Couceiro et al. [8], que pasará a llamarse de ahora en adelante “jacket OC4 modificado”. Esta subestructura está basada en un proceso de optimización estructural del jacket de referencia (modelo OC4), desarrollado por NREL en el marco del proyecto “Offshore Code Comparison Collaboration” [5], el cual presenta un diseño conservador respecto a las necesidades reales de carga y para el aerogenerador empleado.

El proceso seguido para obtener dicha subestructura se basa en una programación lineal secuencial (SLP, Sequential Linear Programming) aplicada a un modelo acoplado en el dominio del tiempo. Este es un método iterativo que resuelve un problema no lineal mediante una sucesión de problemas lineales aproximados. En cada iteración, tras resolver un problema lineal para un conjunto específico de casos de carga, que pueden consultarse en el artículo de Chew et al. [32], se verifican los resultados obtenidos y se actualizan las variables para la siguiente iteración. De este modo, se obtiene una estructura rediseñada más eficiente que la considerada inicialmente.

Para definir la nomenclatura empleada a lo largo del presente trabajo, se describen seguidamente los distintos grupos de secciones, tal y como se recoge en la siguiente tabla y se ilustra en la Figura 24.

Tabla 8. Nomenclatura empleada para el agrupamiento de secciones

Grupos de secciones	
Nomenclatura	Elementos que agrupa
Leg 1 (L1)	1:16
Bracing 1(B1)	37:52
Leg 2 (L2)	17,21,25,29
Bracing 2 (B2)	53:68
Leg 3 (L3)	18,22,26,30
Bracing 3 (B3)	69:84
Leg 4 (L4)	19,23,27,31,20,24,28,32
Bracing 4 (B4)	85:100
Leg 5 (L5)	101:104
Arriostramiento H. (H)	33:36
Pilotes (P)	105,106,107,108,109,110,111,112

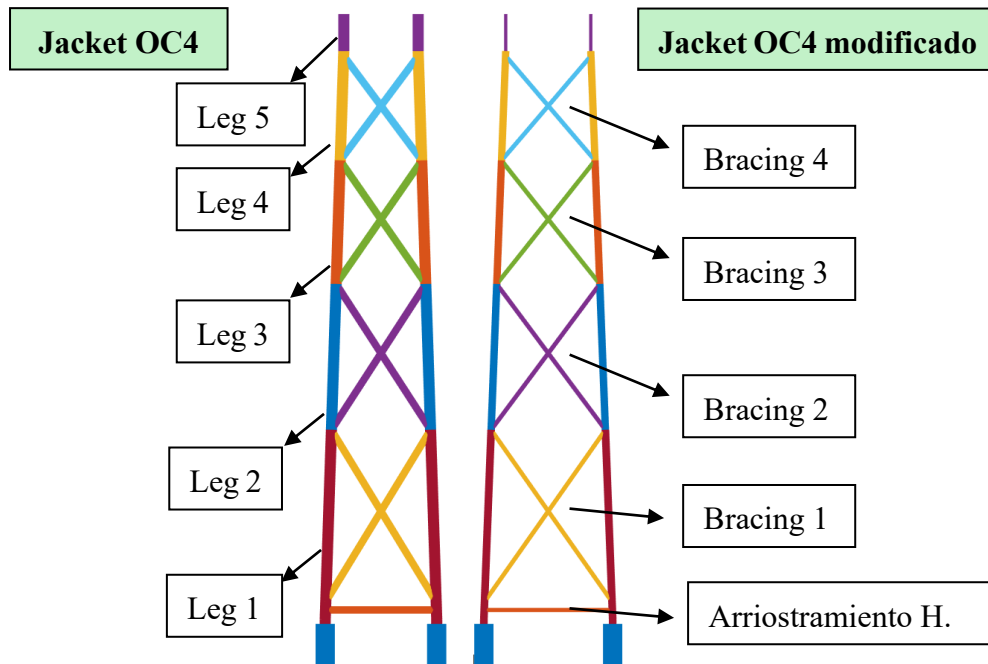


Figura 24. Optimización propuesta del jacket OC4

En la Tabla 9 se recogen los diferentes valores de cada uno de los jacket, con el fin de realizar una comparación entre ambos. En ella se detallan los diámetros y espesores de los distintos elementos que conforman la subestructura, destacando en color rojo aquellas secciones que fallaron estructuralmente.

La propuesta del jacket OC4 optimizado plantea una reducción significativa en las dimensiones de la mayoría de los elementos, lo que permite disminuir el peso total de la estructura, pero afectando gravemente a su comportamiento dinámico.

Tabla 9. Comparación entre el modelo OC4 y el jacket OC4 optimizado

	Modelo OC4		Modelo OC4 optimizado	
	Diámetro (m)	Espesor (m)	Diámetro (m)	Espesor (m)
Leg 1 (L1)	1,20	0,05	0,50	0,02
Bracing 1 (B1)	0,80	0,02	0,50	0,01
Leg 2 (L2)	1,20	0,03	0,77	0,01
Bracing 2 (B2)	0,8	0,02	0,50	0,01
Leg 3 (L3)	1,20	0,03	0,61	0,01
Bracing 3 (B3)	0,80	0,02	0,50	0,009
Leg 4 (L4)	1,20	0,04	0,56	0,01
Bracing 4 (B4)	0,80	0,02	0,50	0,01
Leg 5 (L5)	1,20	0,04	0,50	0,01
Arriostramiento H. (H)	0,80	0,02	0,50	0,009
Pilotes (P)	2,08	0,06	2,08	0,06
<b>Peso total</b>	673.881 Kg		293,840 Kg	
<b>Frecuencia natural</b>	0,316 Hz		0,219 Hz	

## 1.6 Metodología

Para abordar de manera rigurosa el diseño estructural de una subestructura tipo jacket para aerogeneradores offshore es fundamental definir una metodología de estudio que contemple los distintos estados límites conforme a lo dispuesto en la normativa técnica de referencia, tales como las normas DNV e IEC del apartado 1.5.1.2. Estas establecen las condiciones específicas que la subestructura debe satisfacer para asegurar su integridad, funcionalidad y durabilidad durante la vida útil del proyecto. El proceso debe apoyarse en software especializado que permita realizar las simulaciones y verificaciones requeridas.

### 1.6.1 Software empleado

#### *1.6.1.1 OpenFAST*

OpenFAST es un software de simulación dinámica desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) que permite analizar el comportamiento completo de las turbinas eólicas, tanto terrestres (onshore) como marinas (offshore). En el caso de los aerogeneradores offshore, el programa es capaz de simular configuraciones con cimentaciones fijas, como los monopilotes o jackets, así como estructuras flotantes.

Se trata de un software de código abierto y escrito en Fortran 95, cuyo funcionamiento se basa en la resolución acoplada de un conjunto de ecuaciones diferenciales no lineales en el dominio del tiempo, permitiendo modelar con precisión las distintas interacciones físicas que intervienen en el sistema, desde el viento y las olas, la respuesta estructural de la torre y las palas, hasta el sistema de control.

Este software funciona como un marco único de simulación que integra distintos módulos computacionales, empleando así una arquitectura modular, en la que cada módulo representa una parte del sistema. AeroDyn calcula las cargas aerodinámicas; SeaState modela los efectos del oleaje y las corrientes marinas; ElastoDyn simula la respuesta dinámica de la torre y el rotor; ServoDyn gestiona los sistemas de control del aerogenerador, como el paso de pala y la velocidad de giro; e InflowWind define las condiciones del viento a lo largo del tiempo. Por otro lado, se menciona de manera especial el último módulo de OpenFAST, el cual constituye el eje central del presente trabajo, el SubDyn. Este módulo está diseñado para representar y analizar el comportamiento de la subestructura. Permite definir la geometría, la topología estructural del modelo, así como de sus propiedades físicas.

Todos estos módulos se integran mediante un archivo central, con extensión “.fst”, que sirve de punto de partida para el resto de la simulación.

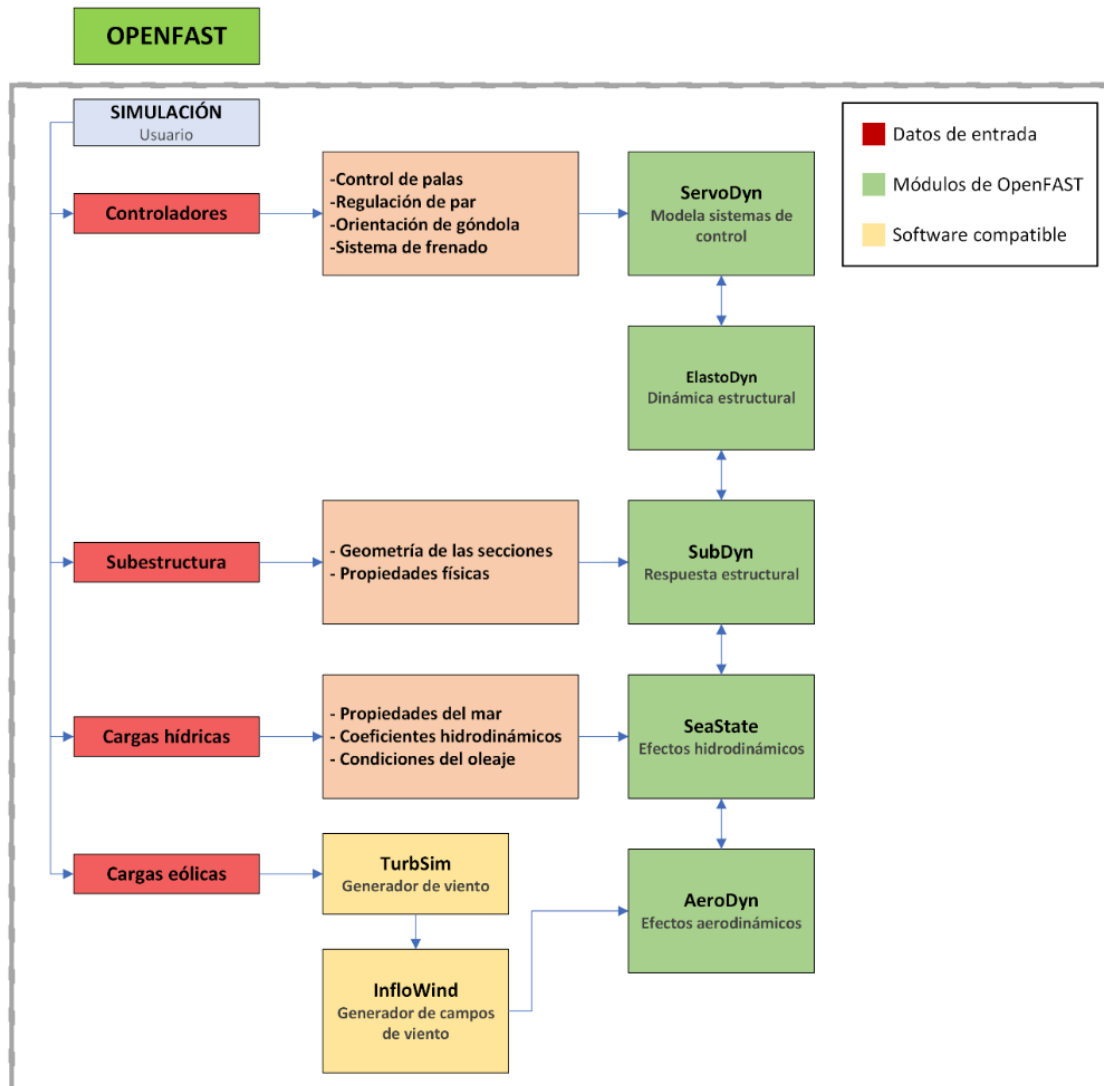


Figura 25. Flujo de trabajo de OpenFAST

Es importante destacar que, al tratarse de un software de código abierto, su fuente es accesible y modificable por los usuarios, lo que permite su continuo desarrollo y mejora [1]. Para la realización de este trabajo se ha empleado la versión rc\_4.0.5 del software, la cual incorpora mejoras respecto a versiones anteriores, en relación con la gestión del número de canales de salida disponibles. Este pequeño error fue identificado y propuesto para su corrección al equipo de soporte, por la División de Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la División de Medios Continuos y Teoría de Estructuras [33], del Instituto Universitario en Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (IUSIANI) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), contribuyendo así con la mejora del software.

A continuación, se presenta una descripción más detallada del funcionamiento de los módulos de OpenFAST utilizados en el desarrollo de este trabajo. Para una explicación más completa sobre los conceptos, capacidades y configuraciones de cada módulo se incluye un enlace de interés [34].

#### 1.6.1.1.1 SeaState

SeaState es el módulo encargado de simular cómo afectan las condiciones del mar a los aerogeneradores marinos. Se encarga de representar los efectos del oleaje, las corrientes marinas y otros fenómenos hidrodinámicos, considerando también los mismos tipos de cimentación que utiliza el módulo SubDyn.

Para modelar estas interacciones con el agua, SeaState utiliza una formulación basada en las ecuaciones de Morison, que considera la inercia del fluido, su contribución a la masa del sistema y los efectos de la viscosidad del agua sobre las estructuras.

Además, el módulo permite simular diferentes tipos de oleaje, desde olas regulares hasta irregulares, ya sea con dirección única o con propagación de energía en múltiples direcciones.

#### 1.6.1.1.2 SubDyn

SubDyn es el módulo encargado de simular cómo responde la subestructura; es decir, la parte que conecta la torre con la cimentación y el fondo marino. Su función principal es representar, mediante elementos finitos, el comportamiento estructural de distintos tipos de cimentaciones fijas, como monopilotes, jackets, trípodes, e incluso algunas configuraciones flotantes. Se basa en una formulación de elementos finitos, lo que permite analizar estructuras complejas teniendo en cuenta su rigidez, amortiguamiento y modos de vibración. Gracias a este enfoque, SubDyn puede simular cómo se comporta la subestructura frente a esfuerzos dinámicos propios del entorno marino.

SubDyn está estrechamente conectado con los módulos ElastoDyn y SeaState. Desde ElastoDyn recibe información sobre el movimiento en el punto donde la torre se conecta a la subestructura (desplazamientos, velocidades y aceleraciones), mientras que SeaState le proporciona las cargas hidrodinámicas que actúan sobre esta. Con estos datos, SubDyn calcula la respuesta estructural y devuelve las reacciones necesarias a ElastoDyn, así como los movimientos de la subestructura a SeaState. Esta interacción permite la simulación de la dinámica hidro-elástica del sistema completo.

La estructura se representa en SubDyn mediante la discretización de 112 elementos de tipo barra, modelados como vigas de Euler-Bernoulli o Timoshenko, según el grado de detalle necesario. Concretamente se ha adoptado la formulación de viga de Timoshenko, ya que incorpora la deformación por cortante y por la inercia rotacional en elementos cortos, aspectos ausentes en modelo clásico de Euler-Bernoulli. Este enfoque lineal puede llegar a dar lugar a un número elevado de grados de libertad, especialmente en estructuras con frecuencias fundamentales altas.

Para mitigar esta complejidad sin perder fidelidad al cálculo, se aplica una técnica llamada reducción modal de Craig-Bampton, que selecciona únicamente los modos dinámicamente más relevantes del sistema. También, se optó por subdividir cada elemento en siete nodos. Esta discretización permite capturar con mayor resolución los esfuerzos a lo largo de todo el elemento, pero provoca un mayor coste computacional.

El módulo también permite configurar el amortiguamiento de la subestructura mediante tres alternativas: sin amortiguamiento, con amortiguamiento proporcional o mediante la introducción directa de una matriz de amortiguamiento. Finalmente, se ha optado por esta última opción, ya que permite un control más preciso sobre la disipación de energía del sistema.

#### 1.6.1.1.3 TurbSim

TurbSim es una herramienta externa que trabaja en conjunto con OpenFAST, especialmente con el módulo InflowWind y se encarga de generar campos de viento turbulento de forma realista. Su función principal es simular la turbulencia atmosférica que puede afectar al aerogenerador, permitiendo que las simulaciones reflejen condiciones de viento más cercanas a la realidad.

Lo que hace TurbSim es modelar cómo la energía del viento se distribuye en diferentes escalas, desde grandes vórtices que se forman en la atmósfera hasta pequeñas ondulaciones. Para generar estos campos de viento, puede usar transformadas de Fourier, lo que permite representar la turbulencia como una combinación de componentes oscilatorias, facilitando su análisis y aplicación en las simulaciones. Además, utiliza algoritmos estocásticos para crear campos de viento con coherencia espacial y temporal; es decir, que representen de forma realista fenómenos como ráfagas, remolinos y cambios súbitos en la dirección del viento.

#### 1.6.1.1.4 InflowWind

InflowWind es el módulo de OpenFAST que se encarga de generar el viento con el que se someterá al aerogenerador en las simulaciones. Su papel es crucial, ya que define las condiciones atmosféricas que afectarán al comportamiento del sistema. Gracias a su flexibilidad, puede representar desde perfiles verticales simples hasta escenarios mucho más realistas y complejos, que incluyen turbulencia, ráfagas o vientos con variación espacial y temporal.

Para crear estas condiciones, InflowWind puede utilizar distintas fuentes: desde perfiles analíticos definidos por el usuario, hasta archivos con datos de viento o turbulencia generados por herramientas externas como TurbSim, como se ha usado en este trabajo. Esto permite simular entornos específicos o reproducir condiciones ambientales de emplazamiento reales con gran nivel de detalle.

En cuanto a su base matemática, InflowWind se apoya en principios de la mecánica de fluidos y la dinámica del viento. Utiliza la ecuación de continuidad y puede integrar las ecuaciones de Navier-Stokes para describir el movimiento de flujos viscosos. Con esto, el módulo es capaz de modelar cómo varía el viento en el espacio y el tiempo, considerando factores como la velocidad, la dirección y la intensidad de la turbulencia.

#### 1.6.1.1.5 AeroDyn

AeroDyn es el módulo encargado de calcular las cargas aerodinámicas que actúan sobre las palas y la torre del aerogenerador. Su función es esencial, ya que estima las fuerzas generadas por el viento, como la sustentación y arrastre, mencionada en el apartado 1.3.2.1.1, así como los momentos aerodinámicos a lo largo del tiempo, lo que permite evaluar el comportamiento dinámico del sistema en condiciones reales.

Para hacer estos cálculos, AeroDyn se basa principalmente en la teoría del momento de las palas (Blade Element Momentum Theory, BEMT) y en modelos de estelas de vórtices, que ayudan a representar cómo el aire se comporta al pasar por las palas del rotor. El viento que utiliza como entrada, proviene del módulo InflowWind, que a su vez puede incorporar datos generados por TurbSim, incluyendo fenómenos como turbulencias o incluso cavitación, si corresponde.

Uno de los principios clave detrás de AeroDyn es el de las líneas de actuador. Esta técnica simplifica el complejo flujo tridimensional del aire alrededor de las palas transformándolo en una serie de cálculos bidimensionales en distintas secciones a lo largo de la pala.

En cada sección, las fuerzas de sustentación, arrastre y los momentos se agrupan como si actuaran en un solo punto, representando de forma eficiente la distribución de fuerzas sobre toda la pala.

Gracias a esta representación, AeroDyn puede simular cómo varía la carga a lo largo del rotor en función del viento incidente, y cómo esto afecta al conjunto del aerogenerador. Estos resultados se integran con los de otros módulos de OpenFAST, como ElastoDyn y SubDyn, aportando información clave para entender el comportamiento estructural y dinámico del sistema completo.

#### 1.6.1.1.6 ServoDyn

ServoDyn es el módulo responsable de simular todo lo relacionado con el control y los sistemas de amortiguamiento del aerogenerador. Para lograr esto, ServoDyn implementa lógica de control clásica junto con modelos dinámicos de actuadores. Entre sus funciones se encuentran el control del paso de las palas, la regulación del par del generador, el sistema de orientación de la góndola, así como el sistema de frenado. Estos sistemas permiten adaptar el funcionamiento del aerogenerador a distintas condiciones operativas, manteniendo un rendimiento eficiente y seguro.

Una de las características más potentes de ServoDyn es su capacidad para aplicar cargas y momentos de forma directa sobre puntos específicos del modelo, lo que se conoce como control estructural. Esto permite al usuario simular condiciones dinámicas personalizadas, añadiendo fuerzas externas en diferentes coordenadas del aerogenerador. Además, puede incluir algoritmos de control avanzados, capaces de adaptarse a distintas situaciones operativas, y también ofrece compatibilidad con sistemas de control externos.

#### 1.6.1.1.7 ElastoDyn

ElastoDyn es el módulo que se encarga de simular cómo se comportan estructuralmente la torre y la góndola del aerogenerador. Este módulo permite entender cómo se deforman y responden estas partes ante fuerzas como la gravedad, la inercia o el amortiguamiento del sistema, teniendo en cuenta también las propiedades de los materiales.

Para lograr esto, se parte de los archivos de entrada, donde se definen todos los parámetros clave del aerogenerador: los grados de libertad del sistema, las condiciones iniciales (como la posición y orientación de cada componente) y las características estructurales de las palas y de la torre.

ElastoDyn utiliza una formulación basada en elementos finitos, concretamente con elementos tipo barra según la teoría de Euler-Bernoulli. Esto significa que no se tienen en cuenta ciertas deformaciones, como las axiales, torsionales o por cortante. Aun así, el modelo es lo bastante completo como para considerar deformaciones lineales y no lineales en múltiples direcciones, basándose en las leyes de la mecánica tanto para cuerpos rígidos como flexibles. Además de esto, ElastoDyn calcula en cada momento la posición, velocidad y aceleración de distintos puntos del aerogenerador. Estos resultados se combinan con los de otros módulos de OpenFAST para poder predecir con mayor precisión cómo se comporta el sistema en su conjunto.

#### 1.6.1.1.8 BeamDyn

BeamDyn es un módulo avanzado de OpenFAST diseñado para simular con alta precisión el comportamiento flexible de las palas del aerogenerador. A diferencia de otros modelos más simplificados, BeamDyn utiliza un enfoque de elementos finitos no lineal basado en la teoría de vigas de Reissner-Mindlin, lo que le permite capturar con mayor realismo cómo se deforman y responden las palas bajo diferentes cargas.

Gracias a esta formulación, BeamDyn puede tener en cuenta efectos de no linealidad geométrica, como grandes desplazamientos o rotaciones, así como materiales anisotrópicos, que son comunes en estructuras compuestas como las palas modernas. Esto permite simular fenómenos complejos como la flexión, la torsión y otras deformaciones que influyen directamente en la eficiencia y durabilidad del aerogenerador.

BeamDyn se integra con el resto de los módulos de OpenFAST para aportar un nivel de detalle adicional en la representación de las palas, lo que lo convierte en una herramienta especialmente útil cuando se busca un análisis estructural detallado o cuando se trabaja con diseños avanzados.

#### 1.6.1.1.9 Bmodes

Bmodes es una herramienta desarrollada por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) que se utiliza para calcular los modos de vibración y las frecuencias fundamentales de estructuras flexibles, como la subestructura de estudio. Su función principal es ayudar a entender cómo se deforma una estructura cuando vibra, algo fundamental para evaluar su estabilidad, optimizar el diseño y prevenir problemas relacionados con la fatiga.

El uso de Bmodes comienza con la creación de archivos de entrada donde se detallan las propiedades del sistema a analizar: geometría, distribución de masas, rigidez estructural, entre otros. A partir de esta información, el programa calcula los modos de vibración (es decir, las formas en las que la estructura puede deformarse) y las frecuencias a las que estos modos se activan.

#### *1.6.1.2 Matlab*

Matlab es una herramienta de programación muy utilizada en ingeniería por su capacidad de cálculo numérico y análisis de datos. Por ello, en este trabajo se ha empleado dicho software para desarrollar un script propio capaz de procesar los archivos generados por OpenFAST y automatizar el cálculo de tensiones, así como las correspondientes verificaciones estructurales.

El código no solo realiza los cálculos y verifica los distintos criterios estructurales, sino que también genera automáticamente un archivo Excel con los resultados y presenta el estado tensional mediante una representación gráfica en forma de mapa de color (Véase Figura 31).

### 1.6.2 Formulación de cargas

Las solicitaciones que actúan sobre la subestructura de un aerogenerador fijado al lecho marino pueden clasificarse, fundamentalmente, en dos tipos: cargas estáticas y cargas dinámicas.

#### *1.6.2.1 Cargas estáticas*

Estas cargas corresponden al peso propio de todos los elementos estructurales (torre, góndola, subestructura y cimentación) y a la presión hidrostática que reciben todos los elementos que están sumergidos. Estas acciones permanecen sobre la estructura de forma continua una vez finalizada la instalación y sin cambios apreciables con el tiempo.

##### *1.6.2.1.1 Peso propio*

La carga asociada al peso propio corresponde a la acción vertical generada por la masa de todos los componentes estructurales. Esta se determina a partir de la siguiente expresión general:

$$P_t = m_t \cdot g \quad (1.6)$$

donde:

- $m_t$ : Masa total de la estructura. Esta masa total se obtiene de la suma de todos los componentes que conforman la estructura (góndola, rotor y torre). [Kg]
- $g$ : Aceleración de la gravedad. [ $m/s^2$ ]

En el caso de los elementos que conforman el jacket, esta carga se considera una carga distribuida y se calcula de la siguiente manera:

$$P_{elemento} = A \cdot L \cdot \rho \quad (1.7)$$

donde:

- $A$ : área de las secciones. [ $m^2$ ]
- $L$ : longitud de las secciones. [m]
- $\rho$ : densidad del material que están compuestas las secciones (Acero S355). [ $Kg/m^3$ ]

#### 1.6.2.1.2 Presión hidrostática

Todo cuerpo sumergido en un fluido se encuentra bajo esta carga y representa la carga distribuida en la dirección normal de la sección que ejerce la columna de agua sobre todas las superficies sumergidas de la subestructura. Su magnitud varía linealmente con la profundidad, siendo mayor en los puntos más próximos al lecho marino.

La expresión que permite calcular la presión hidrostática en función de la profundidad es:

$$p(z) = \rho_{agua} \cdot g \cdot z \quad (1.8)$$

donde:

- $\rho_{agua}$ : Densidad del agua de mar. [ $Kg/m^3$ ]
- $g$ : Aceleración de la gravedad. [ $m/s^2$ ]
- $z$ : Distancia vertical desde la superficie libre del agua hasta el punto considerado. [m]

### 1.6.2.2 Cargas dinámicas

Estas cargas son transitorias y derivan normalmente de la interacción con las condiciones ambientales y operativas. Varían constantemente y pueden generar esfuerzos cíclicos, por lo que resultan determinantes al evaluar la fatiga estructural.

Dentro de este grupo también se incluyen las denominadas cargas accidentales que incluyen situaciones extraordinarias, como el impacto de embarcaciones, colisión con objetos flotantes y fallos de algún equipo. No obstante, estas no se abordarán en el presente trabajo, ya que quedan fuera del alcance de este.

#### 1.6.2.2.1 Cargas de viento

A continuación, se detalla el cálculo de las condiciones de viento de las distintas hipótesis de carga vistas anteriormente en el apartado 1.5, y se seguirán las recomendaciones de la norma IEC 614001-1 [35] y las indicaciones del artículo de Jalbi et al. [7].

##### 1.6.2.2.1.1 Condiciones de viento

Las cargas producidas por la acción del viento están ligadas a las fuerzas de arrastre que sufren los cuerpos expuestos a la trayectoria de flujos de aire. En el caso del rotor, esta fuerza no se aplica de la misma manera que al resto de cuerpo, debido principalmente a lo explicado en el apartado 1.3.2.1.1.

De este modo, para el cálculo de la fuerza del rotor se emplea la siguiente ecuación, tal y como indica Arany et al. [29] en su artículo.

$$T_h = \frac{1}{2} \cdot C_T \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot A_R \cdot (U_R - u)^2 \quad (1.9)$$

Donde:

- $C_T$ : Coeficiente del arrastre (debe ser menor a la unidad).
- $\rho_{\text{aire}}$ : Densidad del aire. [Kg/m<sup>3</sup>]
- $A_R$ : Área que cubre el rotor. [m<sup>2</sup>]
- $U$ : Velocidad del aire paralela el eje de rotación. [m/s]

Para el cálculo del coeficiente de arrastre a velocidad nominal debe verificarse la siguiente condición:

$$C_T = \frac{3,5(2U_R + 3,5)}{U_R^2} \quad (1.10)$$

donde:

- $U_R$ : Velocidad nominal del viento. [m/s]

#### 1.6.2.2.1.1.1 Viento a velocidad nominal y turbulencias normales ( $U_1$ )

Para caracterizar adecuadamente la influencia de la turbulencia del viento en el comportamiento del aerogenerador, se utiliza el Modelo de Turbulencia Normal (NTM). Este modelo, según lo expresado en la norma IEC, permite estimar la desviación estándar de la velocidad del viento en función de la intensidad de la turbulencia y la velocidad media del viento.

$$\sigma_{U,NTM} = I_{ref} \cdot (0,75 \cdot U_R + 5.6) \quad (1.11)$$

donde:

- $I_{ref}$ : Intensidad de turbulencia de referencia (18%).
- $U_R$ : Velocidad nominal del viento. [m/s]

La desviación estándar total de la velocidad del viento asociada únicamente a frecuencias superiores a la frecuencia de giro del rotor (frecuencia 1P) se calcula a partir del espectro de Kaimal:

$$\sigma_{U,NTM,f>1P} = \sqrt{\int_{f_{1P,max}}^{\infty} S_{uu}(f) df} \quad (1.12)$$

donde:

- $S_{uu}(f)$ : Espectro Kaimal del viento.
- $f_{1P,max}$ : Máxima frecuencia de giro del rotor.

Simplificando la ecuación también puede expresarse como:

$$\sigma_{U,NTM,f>1P} = \sigma_{U,NTM} \cdot \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{6L_K}{U_R} \cdot f_{1P,max} + 1\right)^{2/3}}} \quad (1.13)$$

donde:

- $L_K$ : Longitud de correlación integral (normalmente 340,2 m para offshore).
- $U_R$ : Velocidad nominal del viento. [m/s]
- $f_{1P,max}$ : Máxima frecuencia de giro del rotor.

Asumiendo que la componente turbulenta del viento sigue una distribución normal, y considerando un intervalo de confianza del 90 % (según DNV-OS-J101 [36]), la componente turbulenta del viento se calcula como:

$$u_{NTM} = U_R + 1,28 \cdot \sigma_{U,NTM,f>1P} \quad (1.14)$$

Por tanto, las fuerzas de viento máximas y mínimas se determinan con la variante de la ecuación (1.15).

$$F_{wind,max,NTM} = \frac{1}{2} \rho_a A_R C_T (U_R \pm u_{NTM})^2 \quad (1.15)$$

#### 1.6.2.2.1.1.2 Viento a velocidad nominal y turbulencias extremas ( $U_2$ )

Para este modelo se sigue el mismo enfoque que el anterior y su formulación también es extraída de la misma norma [36]; pero, a diferencia del modelo anterior, en este se presenta una formulación diferente para la desviación estándar de la velocidad del viento.

$$\sigma_{U,ETM} = c \cdot I_{ref} \left[ 0,072 \left( \frac{U_{avg}}{c} + 3 \right) \left( \frac{U_{hub}}{c} - 4 \right) + 10 \right] \quad (1.16)$$

donde:

- $c$ : Valor de referencia de velocidad (estimado en 2 m/s).
- $U_{avg} = U_{hub}$ : Velocidad media del viento a la altura del eje del rotor. Se asume de forma conservadora que es la velocidad nominal ( $U_R$ ). [m/s]
- $I_{ref}$ : Intensidad de turbulencia de referencia (18%).

Excluyendo las turbulencias con frecuencias menores a las que puede asumir el control del ángulo de palas, la desviación estándar se calcula de forma análoga al modelo anterior:

$$\sigma_{U,ETM,f>1P} = \sigma_{U,ETM} \cdot \sqrt{\frac{1}{\left( \frac{6L_K}{U_R f_{1P,max}} + 1 \right)^{2/3}}} \quad (1.17)$$

donde:

- $L_K$ : Longitud de correlación integral (normalmente 340,2 m para offshore).
- $U_R$ : Velocidad nominal del viento. [m/s]
- $f_{1P,max}$ : Máxima frecuencia de giro del rotor.

Se obtiene la siguiente velocidad:

$$u_{ETM} = U_R + 2 \cdot \sigma_{U,ETM,f>1P} \quad (1.18)$$

Además, siguiendo el mismo procedimiento de cálculo del modelo anterior y haciendo uso de la ecuación (1.16), se obtiene el valor de la fuerza máxima o mínima de viento.

Cabe destacar que cualquier punto sobre una pala en rotación puede atravesar estructuras turbulentas del viento con características distintas a las consideradas por los modelos descritos en esta sección. Este fenómeno, conocido como muestreo rotacional, puede influir significativamente en la evaluación de las cargas aerodinámicas y, para tener en cuenta este efecto de forma más precisa, resulta conveniente utilizar herramientas de simulación o lenguajes de programación específicos.

Una descripción detallada de cómo modelar la componente turbulenta del viento considerando este fenómeno, puede consultarse en la Ref. [37].

#### 1.6.2.2.1.1.3 Viento a velocidad nominal y turbulencias extremas de operación ( $U_3$ )

En este modelo, la velocidad media del viento bajo la condición de ráfaga extrema (EOG) corresponde a la velocidad nominal del aerogenerador ( $U_R$ ). Si bien este supuesto representa un enfoque conservador, resulta adecuado para una evaluación preliminar de los perfiles de carga, especialmente considerando que los aerogeneradores modernos están equipados con sistemas de frenado de emergencia.

Según lo recomendado por la normativa, las velocidades medias del viento en intervalos de 10 minutos deben modelarse mediante una distribución acumulativa de Weibull.

$$\Phi_{U_{10}} = 1 - e^{-\left(\frac{U_R}{K}\right)^S} \quad (1.19)$$

donde:

- $S$ : Parámetro de forma.
- $K$ : Parámetro de escala de la distribución de Weibull.

La distribución acumulativa correspondiente a la velocidad media del viento en un año se obtiene elevando la ecuación (1.19) a la potencia 52596, que corresponde al número de intervalos de 10 minutos en un año.

$$\Phi_{U_{10},1\text{-año}} = \left(\Phi_{U_{10}}\right)^{52596} \quad (1.20)$$

El cálculo de la velocidad media del viento de 1 año, según la norma DNV-OS-J101 [36], se obtiene de la siguiente manera:

$$U_{10,1\text{-año}} = 0,8 \cdot U_{50\text{-año}} \quad (1.21)$$

donde:

- $U_{50\text{-año}}$ : Velocidad del viento en 50 años, correspondiente a una probabilidad de excedencia del 2 % en un año, y se expresa como [m/s]:

$$U_{10,50\text{-año}} = K \left[ -\ln \left( 1 - 0,98^{\frac{1}{52596}} \right) \right]^{1/s} \quad (1.22)$$

donde:

- $K$ : Parámetro de escala de la distribución de Weibull.
- $S$ : Parámetro de forma.

Por otro lado, la desviación estándar característica se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{U,c} = 0,1 \cdot U_{10,1\text{-año}} \quad (1.23)$$

donde:

- $U_{10,1\text{-año}}$ : Velocidad media del viento de 1 año. [m/s]

Una vez obtenidos los valores de las ecuaciones (1.21)-(1.23), se dispone de todos los componentes necesarios para calcular la componente turbulenta extrema de operación:

$$u_{EOG} = \min \left[ 1,35 \cdot (U_{10,1\text{-año}} - U_R), \frac{3,3 \cdot \sigma_{U,c}}{1 + 0,1 \cdot \frac{D}{L_K}} \right] \quad (1.24)$$

De forma análoga a las dos secciones anteriores, a partir de ( $u_{EOG}$ ) pueden calcularse ahora las fuerzas que ejerce este modelo.

### 1.6.2.2.2 Cargas del oleaje

Las cargas que actúan sobre un cuerpo sumergido en el mar están asociadas al arrastre generado por el movimiento del agua (corrientes marinas), a las cargas generadas por el choque de masas de agua (oleaje), y a las fuerzas inerciales provocadas por estos. Todas estas contribuciones de carga se calculan siguiendo las recomendaciones establecidas en la norma DNVGL-RP-C205 [38].

En este apartado se consideran distintas condiciones de oleaje asociadas a diferentes periodos de retorno; por lo que, para cada caso, se analizan dos tipos de altura de ola:

- **Altura significativa de ola:** corresponde al promedio del tercio de olas más altas observadas durante un periodo de 3 horas.
- **Altura máxima de ola:** hace referencia a la ola de mayor altura registrada en ese mismo intervalo temporal.

Ambas condiciones se tratan mediante un mismo enfoque: utilizar la altura de la ola correspondiente, para obtener los perfiles de velocidad y aceleración del fluido. La modelización del oleaje se basa en la teoría lineal de ondas de Airy, válida para cualquier profundidad de agua.

El primer paso consiste en determinar las variables de propagación asociadas al estado de mar que se desea analizar. Según lo establecido en la norma DNVGL-ST-0437 [25], el periodo de la ola ( $T_w$ ) puede estimarse en función de la altura de ola ( $H_w$ ), situándose en el siguiente intervalo:

$$11,1 \cdot \sqrt{\frac{H_w}{g}} \leq T_w \leq 14,3 \cdot \sqrt{\frac{H_w}{g}} \quad (1.25)$$

Dado que el estado de carga de la ubicación varía con el tiempo, es necesario analizarlo en distintos momentos para identificar las condiciones más críticas según cada una de las hipótesis consideradas en el apartado 1.6.1.2.1.2.

#### 1.6.2.2.2.1 Altura de la ola extrema con periodo de retorno de 50 años

La altura significativa de ola se define como la media del tercio superior de las olas más altas registradas en un intervalo de 3 horas. En el caso del análisis para un periodo de retorno de 50 años ( $H_{S,50}$ ), se considera como la mayor altura significativa registrada en una serie de estados de mar de 3 horas a lo largo de un año, con una probabilidad de ocurrencia del 2%.

Durante las primeras fases del diseño, este valor puede estimarse utilizando datos públicos o informes de estaciones meteorológicas, petrolíferas u oceanográficas cercanas al emplazamiento del futuro parque eólico. Además, Según la norma DNV–OS–J101[36], el periodo de ola asociado a ( $H_{S,50}$ ) se encuentra dentro del siguiente intervalo:

$$11,1 \cdot \sqrt{\frac{H_{S,50}}{g}} \leq T \leq 14,3 \cdot \sqrt{\frac{H_{S,50}}{g}} \quad (1.26)$$

Dado que los periodos más cortos (frecuencias más altas) tienden a generar cargas mayores, al estar más próximos a las frecuencias fundamentales de la estructura, se adopta el valor conservador más bajo:

$$T_{S,50} = 11,1 \cdot \sqrt{\frac{H_{S,50}}{g}} \quad (1.27)$$

donde:

- $g$ : Aceleración de la gravedad. [m/s<sup>2</sup>]
- $H_{S,50}$ : Altura de ola para un periodo de retorno de 50 años (estación oceánica). [m]

La altura máxima de ola con periodo de retorno de 50 años se puede estimar a partir de la siguiente expresión:

$$H_{m,50} = H_{S,50} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \ln(N)} \quad (1.28)$$

donde:

- $N$ : número de ciclos de carga (olas) en un intervalo de 3 horas (10800 segundos)

$$N = \frac{10800}{T_{S,50}} \quad (1.29)$$

Por lo tanto, conociendo el valor de la altura de la ola máxima en 50 años ( $H_{m,50}$ ) calculado en la ecuación (1.28), el periodo de esta ola se obtiene de la siguiente ecuación:

$$T_{m,50} = 11,1 \cdot \sqrt{\frac{H_{m,50}}{g}} \quad (1.30)$$

donde:

- $H_{m,50}$ : Altura máxima de ola con periodo de retorno de 50 años. [m]
- $g$ : Aceleración de la gravedad. [ $m/s^2$ ]

En resumen, la altura máxima de ola se calcula a partir de la altura significativa de ola ( $H_{S,50}$ ), y una vez conocida mediante la ecuación (1.28), se puede determinar el periodo máximo de ola asociado mediante la ecuación (1.30).

#### 1.6.2.2.2.2 *Altura de la ola significativa con periodo de retorno de 1 año*

La altura significativa de ola con un periodo de retorno de 1 año ( $H_{S,1}$ ) y su periodo asociado ( $T_{S,1}$ ), se pueden calcular a partir de los valores estimados para un periodo de retorno de 50 años. Para ello, se utiliza la formulación recomendadas en la norma DNV–OS–J101[36]:

$$H_{S,1} = 0.8 \cdot H_{S,50} \quad (1.31)$$

$$T_{S,1} = 11.1 \cdot \sqrt{\frac{H_{S,1}}{g}} \quad (1.32)$$

De forma análoga al periodo de retorno de 50 años, la altura máxima de ola ( $H_{m,1}$ ) puede calcularse a partir de la altura significativa ( $H_{S,1}$ ), utilizando esta expresión:

$$H_{m,1} = H_{S,1} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \ln(N)} \quad (1.33)$$

donde:

- $N$ : número de ciclos de carga (olas) en un intervalo de 3 horas (10800 segundos)

$$N = \frac{10800}{T_{S,1}} \quad (1.34)$$

Es importante comentar que el comportamiento dinámico de un aerogenerador marino se ve afectado por las diferentes acciones anteriormente nombradas, que generan efectos específicos sobre la estructura. El viento turbulento genera cargas dinámicas sobre las palas que se transmiten a la góndola y, a su vez, al conjunto estructural. El oleaje induce esfuerzos laterales, cuya magnitud depende la altura y el periodo de las olas, así como de la profundidad del agua. La rotación del rotor genera una fuerza lateral y un momento de vuelco sobre la cimentación, asociado a la frecuencia de giro del rotor (1P). Además, esta rotación también da lugar al llamado *efecto sombra*, que no es más que una perturbación

periódica del viento sobre la torre causada por el paso de las palas frente a ella. Este fenómeno introduce cargas pulsantes que dependen del número de palas (3P para tripalas) y que afectan directamente a la fatiga estructural.

A modo de representación gráfica, la Figura 26 muestra de forma esquemática el conjunto de cargas que actúan sobre la subestructura del aerogenerador.

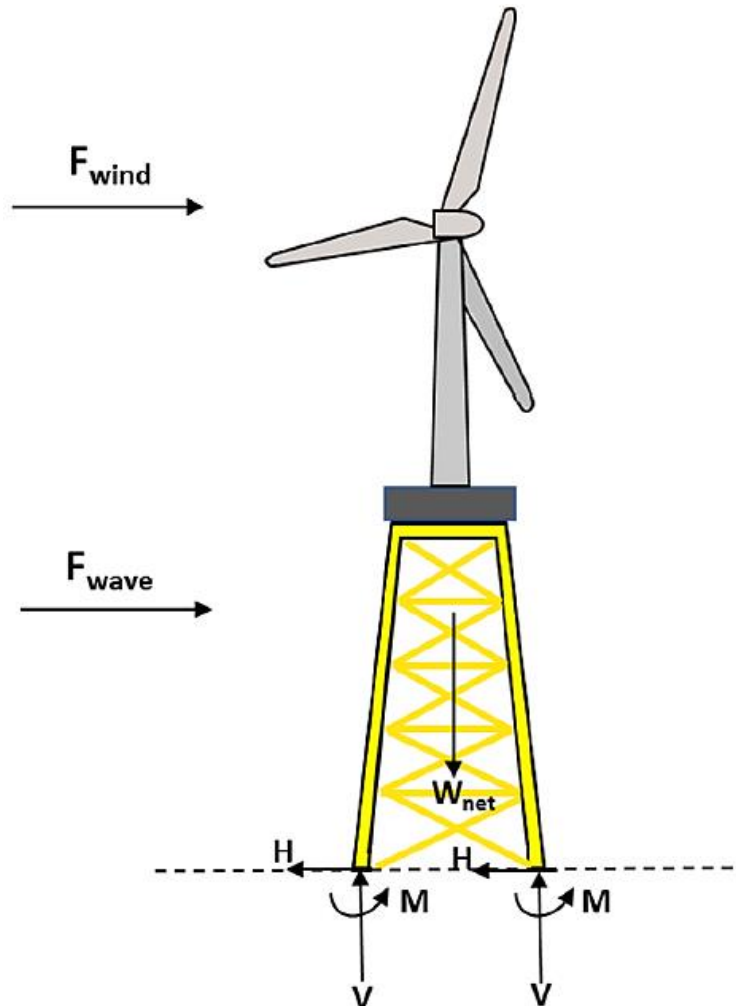


Figura 26. Principales cargas aplicadas sobre la subestructura (Fuente: [7])

### 1.6.3 Análisis de la respuesta a excitaciones

En este tipo de estructuras resulta fundamental conocer el comportamiento de las cargas que varían con el tiempo. Este tipo de sollicitaciones dinámicas no puede abordarse correctamente mediante métodos estáticos tradicionales, ya que los efectos que producen dependen del instante observado. Por ello, en este trabajo se opta por un enfoque en el dominio del tiempo, que permite simular con mayor veracidad la respuesta estructural ante dichas excitaciones.

### 1.6.3.1 Estudio del dominio del tiempo

Este enfoque permite observar directamente cómo la estructura se deforma, vibra o reacciona ante una sollicitación específica, permitiendo capturar su respuesta segundo a segundo. En el caso de las simulaciones realizadas, estas cargas provienen de espectros de oleaje y viento, generadas mediante modelos estocásticos, como el modelo de turbulencia de Kaimal y el modelo JONSWAP (Joint North Sea Wave Project).

Una de las principales ventajas que presenta este método es que permite una interpretación clara e intuitiva de cómo varía la respuesta estructural frente a escenarios reales. Es especialmente útil, ya que tiene en cuenta interacciones complejas entre componentes, efectos acumulativos y condiciones específicas del tiempo de carga. Por el contrario, su principal desventaja es que requiere una alta capacidad computacional, especialmente en modelos complejos, donde las ecuaciones diferenciales que rigen el sistema presentan múltiples variables dependientes entre sí y comportamientos no lineales.

La subestructura tipo jacket presenta una topología espacial compleja, con múltiples elementos tubulares interconectados, conexiones arriostradas y cimentaciones profundas, cuya interacción con el suelo y con el aerogenerador introduce comportamientos no lineales, dependientes del tiempo y considerando efectos de plasticidad y fatiga del material.

El modelo matemático que representa el comportamiento del sistema puede expresarse de la siguiente forma:

$$f(t) = [M] \cdot \ddot{u}(t) + C \cdot \dot{u}(t) + K \cdot u(t) \quad (1.35)$$

donde:

- $f(t)$ : Vector de fuerzas nodales
- $M$ : Matriz cuadrada y simétrica de masa
- $\ddot{u}$ : Derivada temporal segunda del vector de desplazamiento nodal (Aceleraciones)
- $C$ : Matriz cuadrada y simétrica de amortiguamiento
- $\dot{u}$ : Derivada temporal primera del vector de desplazamiento nodal (Velocidades)
- $K$ : Matriz cuadra y simétrica de rigidez
- $u$ : Vector de desplazamiento nodal

La resolución del sistema matricial anterior permite obtener los desplazamientos, velocidades y aceleraciones de los nodos en cada instante de tiempo  $t$ . Es decir, describe cómo evoluciona dinámicamente la estructura.

#### 1.6.4 Explicación del código desarrollado

Para la realización del análisis estructural con OpenFAST, es necesario el desarrollo de un código en Matlab que analice los resultados de los ficheros de salida del software. Estos archivos contienen miles de filas y columnas con datos numéricos de la evolución temporal de las diferentes magnitudes físicas en nodos y elementos de la subestructura, pero en un formato poco accesible como el binario. En particular, el módulo SubDyn únicamente proporciona como resultados las fuerzas y momentos aplicados en los nodos o subdivisiones de las barras, sin ofrecer información sobre las tensiones internas que experimentan las secciones. Sin embargo, el objetivo del diseño estructural es comprobar que todos los elementos de la subestructura cumplen con los requisitos normativos, evaluando los criterios de fallo, tensiones y factores de aprovechamiento en distintos puntos. Para ello es necesario transformar los esfuerzos nodales en tensiones aplicadas sobre cada uno de los elementos que componen la subestructura, organizando los resultados de forma que permitan realizar una verificación estructural completa. Esta necesidad descrita, justifica el desarrollo de una herramienta que permita automatizar el análisis.

Teniendo en cuenta esta necesidad, se ha desarrollado un código propio en Matlab que procesa automáticamente los archivos de salida de OpenFAST, calcula las tensiones en las secciones de las barras a partir de los esfuerzos nodales, calcula los factores de aprovechamiento y genera representaciones gráficas y tablas de resultados. Por lo tanto, el código desarrollado permite transformar los datos binarios obtenidos en valores numéricos accesibles, para realizar una verificación detallada del cumplimiento estructural de la subestructura.

A continuación, se presenta un diagrama de bloques que ilustra el flujo de trabajo seguido por el código desarrollado, con el fin de facilitar la comprensión de su funcionamiento, aunque será explicado en detalle más adelante.

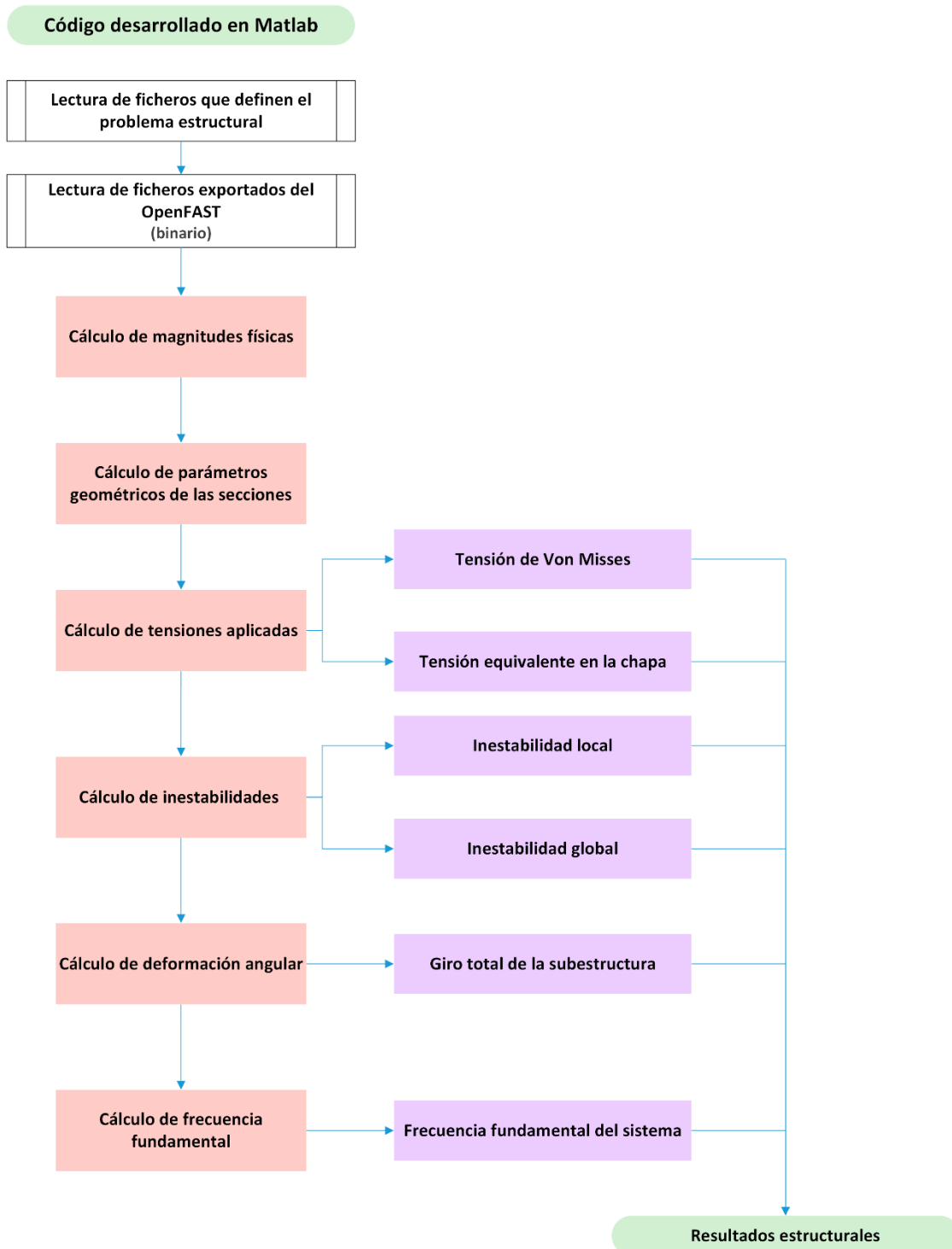


Figura 27. Diagrama del flujo de trabajo del código desarrollado

En la primera fase del código, se define la geometría completa de la subestructura. Mediante un archivo de texto generado por el usuario, se introducen todos los parámetros básicos que caracterizan la subestructura y que previamente se han configurado en el SubDyn para la simulación. Dicho archivo recoge datos tales como: propiedades físicas del material empleado, los diámetros y espesores de las secciones, etc.

Debido a la naturaleza binaria de los archivos a analizar, como se explicó anteriormente, estos no son legibles fácilmente y requieren de herramientas específicas para su lectura como el “ReadFASTbinary”. Esta función dentro del código desarrollado permite cargar el contenido de los archivos binarios de forma estructurada y eficiente, almacenándolos y concatenándolos en una matriz sobre la cual se realiza todo el análisis estructural.

Una vez realizada toda la lectura de los datos, se define un intervalo temporal que descarte los primeros segundos, con el objetivo de seleccionar un tramo representativo del comportamiento estructural, descartando los efectos transitorios iniciales y centrando el análisis en la fase de régimen estable.

Es necesario comentar que para este trabajo se ha decidido que el código debe incorporar la capacidad de analizar los distintos estados tensionales que actúan sobre los elementos, tal y como se nombró en la explicación del módulo SubDyn de OpenFAST del apartado 1.6.1.1.2. Esta decisión, considera realizar 7 subdivisiones a lo largo de cada una de ellas, así como diversos ángulos de aplicación dentro de la sección transversal (Figura 28). El propósito de este refinamiento de cálculo es identificar el punto más desfavorable en cada elemento, mejorando el cálculo y permitiendo realizar una comprobación más precisa de los posibles incumplimientos.

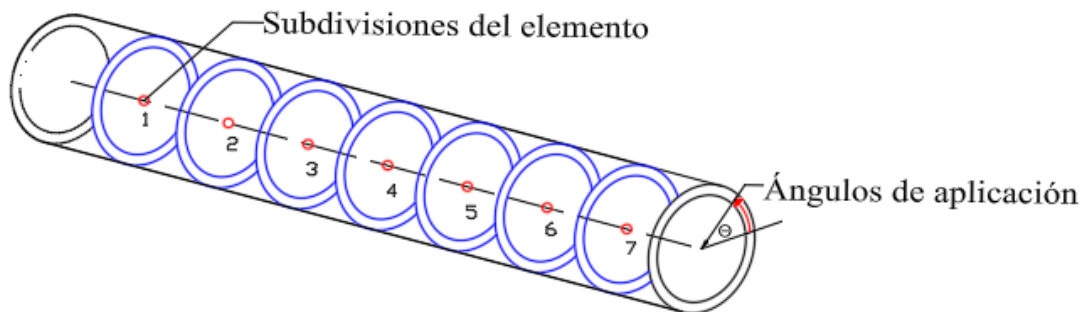


Figura 28. Subdivisiones de los elementos y ángulos empleados

En relación con esta decisión, es importante destacar que la subestructura está compuesta por un total de 112 elementos, pero el software utilizado únicamente permite realizar subdivisiones para un máximo de 99 elementos por simulación (NMOoutputs) como se puede ver en el manual del módulo en las versiones más recientes [39]. Por tanto, es necesario dividir el análisis en dos partes: en una primera simulación se procesan 99 elementos, y en una segunda simulación se procesan los 13 restantes. De este modo, se garantiza cubrir la totalidad del jacket sin exceder las limitaciones impuestas por el software.

En la siguiente tabla se muestra de forma esquemática y resumida el número de simulaciones totales realizadas para cada una de las subestructuras analizadas:

Tabla 10. Número de simulaciones realizadas

Escenario	Ángulos	N.º casos	N.º simulaciones
E1	(A0°, A45°, D45°, D90°)	2 (13 y 99 elementos)	8
E2	(A0°, A45°, D45°, D90°)	2 (13 y 99 elementos)	8
E3	(A0°, A45°, D45°, D90°)	2 (13 y 99 elementos)	8
<b>Simulaciones realizadas por subestructura</b>			<b>24</b>

Siguiendo con la disposición del código, el siguiente proceso es la definición geométrica de la subestructura. Esto consiste en definir los diferentes parámetros característicos de las secciones cilíndricas tubulares de cada uno de los elementos que conforman la subestructura. Para ello se calculan las magnitudes físicas de las barras, a partir del archivo de texto introducido por el usuario como se comentó anteriormente.

#### 1.6.4.1 Obtención de las magnitudes físicas de las secciones

Se calculan las diferencias de posición entre los extremos de una barra en cada dirección del espacio:

$$D_x = x_j - x_i \tag{1.36}$$

$$D_y = y_j - y_i \tag{1.37}$$

$$D_z = z_j - z_i \tag{1.38}$$

donde:

- $i$ : Representa la posición inicial del elemento. [m]
- $j$ : Representa la posición final del elemento. [m]

Esto permite conocer en qué dirección y cuánto se extiende cada barra desde su punto de inicio hasta su punto final.

Calcular la altura media (en el eje Z) del elemento, promediando la altura de sus dos extremos, permite conocer qué elementos están sumergidos, cuales están parcialmente afectados por cargas de oleaje y cuáles no. Es necesario conocer este parámetro para saber sobre qué elementos se aplica la presión hidrostática principalmente, y se define de la siguiente manera:

$$A_{media} = \frac{z_i + z_j}{2} \tag{1.39}$$

donde:

- $z_i$ : Corresponde a la altura inicial del elemento. [m]
- $z_j$ : Corresponde a la altura final del elemento. [m]

La siguiente expresión calcula la distancia entre los nodos proyectada en el plano horizontal (XY); es decir, la "sombra" que dejaría la barra sobre una vista superior del plano. Este parámetro es necesario para interpretar la disposición, orientación e inclinación de los elementos.

$$D_{xy} = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} \quad (1.40)$$

Para obtener la longitud del elemento en el espacio se emplea:

$$L = \sqrt{D_x^2 + D_y^2 + D_z^2} \quad (1.41)$$

La última magnitud física calculada es el peso de cada barra, que ya se comentó en el apartado 1.6.2.1.1 y cuya ecuación de cálculo es la ecuación (1.7).

Es importante destacar que todas estas variables se almacenan en vectores de dimensión (112x1), de modo que cada componente del vector representa el valor de cada una de las barras que conforman la subestructura.

#### *1.6.4.2 Obtención de los parámetros geométricos de las secciones*

Una vez conocidas las magnitudes físicas de cada sección, se procede al cálculo de los principales parámetros geométricos que definen su comportamiento mecánico. Estos valores son esenciales para poder analizar correctamente las tensiones, deformaciones y otros efectos estructurales sobre cada elemento.

Para el cálculo del radio exterior, se toma la cuarta parte de la suma de los dos diámetros extremos:

$$r_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{D_1 + D_2}{2} = 0,25(D_1 + D_2) \quad (1.42)$$

donde:

- $D_1$ : Diámetro exterior de la sección. [m]
- $D_2$ : Diámetro interior de la sección. [m]

El espesor medio se obtiene promediando los espesores de pared en ambos extremos de la barra:

$$t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2) \quad (1.43)$$

Conociendo el radio exterior y el espesor medio, se determina el radio interior de la barra:

$$r_2 = r_1 - t \quad (1.44)$$

donde:

- $r_1$ : Radio exterior de la sección. [m]
- $t$ : Espesor de la sección. [m]

Para el cálculo de ciertas tensiones, es necesario utilizar el radio de la fibra media, ya que algunas cargas actúan precisamente sobre esta región de la sección transversal. En particular, este parámetro es fundamental para determinar las tensiones normales debidas a flexión y las tensiones tangenciales asociadas a esfuerzos de torsión, ya que estas se distribuyen en función de la distancia al eje neutro o al eje de torsión del elemento.

$$r_m = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (1.45)$$

donde:

- $r_1$ : Radio exterior de la sección. [m]
- $r_2$ : Radio interior de la sección. [m]

Para el cálculo del área útil de la barra, que influye directamente en su capacidad para soportar cargas, se emplea la siguiente ecuación:

$$A = \pi(r_1^2 - r_2^2) \quad (1.46)$$

donde:

- $r_1$ : Radio exterior de la sección. [m]
- $r_2$ : Radio interior de la sección. [m]

En cuanto a los momentos de inercia respecto a los ejes principales y que determinan la resistencia de la barra frente a la flexión respecto a los ejes horizontales, se calculan de la siguiente forma:

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{\pi}{4}(r_1^4 - r_2^4) \quad (1.47)$$

donde:

- $r_1$ : Radio exterior de la sección. [m]
- $r_2$ : Radio interior de la sección. [m]

Para el cálculo del módulo de torsión polar se utiliza:

$$J_{xx} = 2 \cdot I_{xx} \quad (1.48)$$

donde:

- $I_{xx}$ : momentos de inercia. [m<sup>4</sup>]

Los módulos resistentes que permiten estimar las tensiones máximas en la sección cuando se aplican momentos flectores o torsionales se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$W_x = W_y = \frac{I_{xx}}{r_1} \quad (1.49)$$

donde:

- $I_{xx}$ : momentos de inercia con respecto al eje x. [m<sup>4</sup>]
- $r_1$ : Radio exterior de la sección. [m]

$$W_t = 2 \cdot W_x \quad (1.50)$$

Donde:

- $W_x$ : módulos resistente del eje x. [m<sup>3</sup>]

Por último, el radio de giro, que relaciona la rigidez a flexión con el área del perfil, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$r_i = \sqrt{\frac{I_{cc}}{A}} \quad (1.51)$$

donde:

- $I_{cc}$ : momentos de inercia con respecto al eje de referencia. [m<sup>4</sup>]

A continuación, se inicia el proceso principal y por el cual se creó el código, estructurar los vectores temporales extraídos de los archivos producidos por OpenFAST tras las simulaciones. Estos vectores reflejan todos los esfuerzos generados en cada punto de la sección a lo largo de toda la simulación (un vector por cada esfuerzo), por lo que a mayor tiempo de simulación, mayor será la cantidad de valores de dichos vectores temporales. Durante este proceso, también se deben integrar conjuntamente en un único vector los dos archivos binarios generados previamente, que corresponden a los diferentes casos de estudio derivados de las subdivisiones. Estos se concatenan de forma secuencial, de

manera que los datos obtenidos para la configuración de 13 elementos se añaden justo después de los datos correspondientes a la simulación con 99 elementos, obteniendo un único vector temporal por cada nodo o subdivisión de la subestructura.

Una vez estructurada toda la información, el código procede a analizar estos vectores temporales y analizará el comportamiento de la subestructura.

#### 1.6.4.3 Cálculo de las tensiones

Durante esta fase, se recorre de forma secuencial cada uno de los nodos o subdivisiones de los elementos y se realizan los cálculos necesarios para obtener las tensiones en un instante específico de la simulación. Es importante señalar que este cálculo no se basa en los valores máximos independientes de cada esfuerzo registrado a lo largo de la simulación, sino que se evalúa en el mismo instante temporal concreto en el que dichos esfuerzos máximos se producen de forma simultánea, véase la Figura 29.

El cálculo de las tensiones se implementa mediante un bucle iterativo que considera simultáneamente todas las componentes de los esfuerzos aplicados en los distintos ángulos, garantizando así una evaluación coherente y representativa del estado real de cargas a lo largo del tiempo.

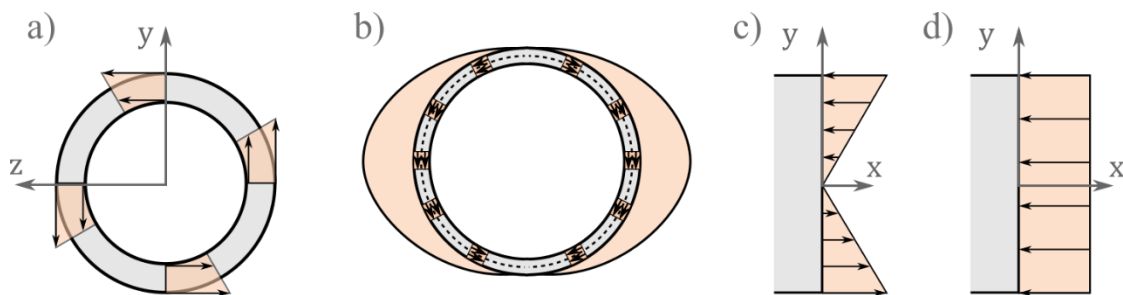


Figura 29. Superposición del estado tensional de las secciones

Este enfoque tiene como objetivo evitar un sobredimensionamiento innecesario de la subestructura, permitiendo refinar el cálculo y obtener un diseño más eficiente de las secciones que la componen.

Antes de proceder con la exposición de las expresiones empleadas, es pertinente contextualizar que todas las expresiones presentadas a continuación corresponden al análisis de perfiles cilíndricos de pared delgada y sección cerrada, cuyo análisis se realiza de acuerdo a lo prescrito en la norma DNVGL-RP-C202 [40].

#### 1.6.4.3.1 Tensión normal en la dirección de la barra

Para calcular el estado de tensión normal en la dirección de la barra ( $\sigma_x$ ) correspondiente a la tensión longitudinal en un punto de la sección, se emplea la siguiente expresión:

$$\sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} \sin(\theta) + \frac{M_x}{W_x} \cos(\theta) \quad (1.52)$$

donde:

- $N$ : Esfuerzo axil. [N]
- $M_y$ : Momento flector con respecto al eje y de la sección. [Nm]
- $M_x$ : Momento flector con respecto al eje x de la sección. [Nm]
- $A$ : Área de la sección. [m<sup>2</sup>]
- $W_y$ : módulo resistente de la sección. [m<sup>3</sup>]
- $W_x$ : módulo resistente de la sección. [m<sup>3</sup>]
- $\theta$ : Ángulo de aplicación. [°]

Este resultado proviene del análisis de tensiones en secciones sometidas a carga compuesta, aplicando la superposición de esfuerzos.

#### 1.6.4.3.2 Tensión tangencial en el plano normal al eje de la barra

Equivalentemente, se calcula la tensión tangencial en cada barra ( $\tau$ ), dependiente del cortante y del momento torsor, mediante la siguiente expresión:

$$\tau = -\frac{2V_y}{A} \sin(\theta) + \frac{2V_x}{A} \cos(\theta) + \frac{M_t}{W_t} \quad (1.53)$$

donde:

- $V_{y,x}$ : Esfuerzo cortante de la sección. [N]
- $M_t$ : Momento torsor de la sección. [Nm]
- $W_t$ : módulo resistente de la sección. [m<sup>3</sup>]
- $A$ : Área de la sección. [m<sup>2</sup>]
- $\theta$ : Ángulo de aplicación. [°]

### 1.6.4.3.3 Tensión normal en la dirección radial de la barra

La tensión normal en la dirección radial de la barra aparece tras someter al elemento a la presión hidrostática ( $\sigma_r$ ). La tensión radial en el exterior de la sección cilíndrica puede expresarse como [41]:

$$\sigma_r = p_{out} = (h_a - A_{media}) \rho_{agua} g \quad ; \quad para \ z < h_a \quad (1.54)$$

donde:

- $h_a$ : Altura de la superficie del agua. [m]
- $A_{media}$ : Altura media donde se encuentra la barra. [m]
- $\rho_{agua}$ : Densidad del agua [Kg/m<sup>3</sup>]
- $g$ : Aceleración de la gravedad. [m/s<sup>2</sup>]

Esta notación matemática,  $z < h_a$  indica que todos aquellos elementos que no están en contacto con el agua no la experimentan.

### 1.6.4.3.4 Tensión normal en la dirección tangencial de la barra

Al igual que en el caso anterior, la tensión normal ( $\sigma_{h,Sd}$ ) en la dirección tangencial de la barra aparece al someter el elemento a la presión hidrostática (elemento sumergido) y calcula la tensión tangencial en una barra cilíndrica sometida a presión externa por acción del agua ( $\sigma_h$ ):

$$\sigma_{h,Sd} = \frac{p_{Sd} \cdot r_1}{t} \quad (1.55)$$

donde:

- $p_{out} = p_{sd}$ : Presión en el exterior de la sección (Ecuación (1.55)). [MPa]
- $r_1$ : Radio interior de la sección. [m]
- $t$ : Espesor de la sección. [m]

### 1.6.4.3.5 Tensión de Von Misses

La tensión de Von Misses es ampliamente utilizada para evaluar la resistencia de materiales dúctiles sometidos a un estado tensional complejo. Esta tensión se basa en la hipótesis de que la fluencia (o plastificación) ocurre cuando la energía de distorsión en un punto concreto alcanza el límite característico del material.

En su forma simplificada, aplicable a estados planos, se expresa como:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (1.56)$$

donde:

- $\sigma_x$ : Tensión normal. [MPa]
- $\tau$ : Tensión tangencial. [MPa]

Esta tensión equivalente combina las componentes normales y tangenciales en una única magnitud escalar, que puede compararse directamente con el límite elástico del material para comprobar si el estado de tensiones provoca plastificación. Esta verificación se realizará más adelante en el apartado 1.6.5.5 y se recoge en la ecuación (1.73).

#### 1.6.4.3.6 Tensión equivalente en la chapa

La tensión equivalente en la chapa se obtiene con una fórmula basada en el criterio de Von Mises y que será adaptada para poder evaluar la inestabilidad local cuando los elementos estructurales están sometidos a cargas combinadas. Esta fórmula reúne en un único valor las distintas tensiones que aparecen: las normales por esfuerzo axial y flexión, la tensión normal debida a la presión hidrostática y las tensiones tangenciales. De este modo, es más sencillo comprobar si la chapa está cerca de fallar por pandeo local.

Este enfoque es especialmente útil en chapas delgadas o perfiles de sección cerrada, donde los efectos locales, como las abolladuras, pueden comprometer la seguridad de la estructura.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_m)^2 - (\sigma_a + \sigma_m)\sigma_h + \sigma_h^2 + 3\tau^2} \quad (1.57)$$

donde:

- $\sigma_a$ : Componente axial de la tensión normal  $\sigma_x$ . [MPa]
- $\sigma_m$ : Componente resultante del esfuerzo flector de la tensión normal  $\sigma_x$ . [MPa]
- $\sigma_h$ : Tensión producida por la presión hidrostática. [MPa]
- $\tau$ : Tensión tangencial. [MPa]

Una vez calculadas las tensiones que se aplican en todas las barras que forman la subestructura, se da comienzo a la tercera y última etapa del código: calcular todos los parámetros necesarios para el estudio de inestabilidades y realizar todas comprobaciones de las distintas verificaciones estructurales de obligado cumplimiento.

#### 1.6.4.4 Análisis de la inestabilidad global y local

En elementos estructurales esbeltos sometidos a compresión, puede producirse un fenómeno característico conocido como pandeo, que consiste en la pérdida de estabilidad del elemento antes de alcanzar la resistencia máxima del material. Este efecto, relacionado con la geometría de la sección, hace que se deforme lateralmente de forma súbita, incluso antes de que las tensiones superen el umbral elástico del material.

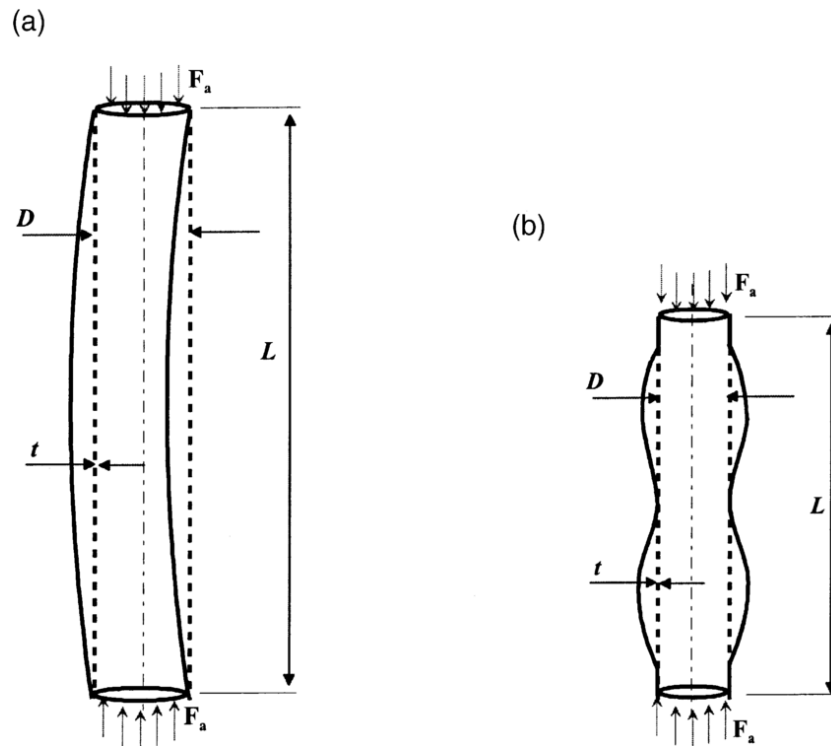


Figura 30. Tipos de inestabilidades (Fuente: [42])

El efecto del pandeo, como se puede observar en la figura precedente, puede manifestarse de dos formas principales: de manera global (a), afectando al elemento completo y provocando que se curve o tuerza en su totalidad; o de manera local (b), limitado a una zona concreta de la sección, donde la chapa sufre deformaciones en forma de abolladuras o pliegues. Dada la esbeltez y el reducido espesor de las secciones cilíndricas estudiadas en este trabajo, resulta necesario considerar ambos tipos de inestabilidad en las verificaciones estructurales, por lo que se incluirán en los apartados 1.6.5.4.1 y 1.6.5.4.2 respectivamente.

A continuación, se detallan los parámetros necesarios para poder realizar la verificación de inestabilidad en los elementos, conforme al orden que se muestra en la Figura 30.

#### 1.6.4.4.1 Parámetros de comprobación de inestabilidad global

##### 1.6.4.4.1.1 Resistencia de Euler a pandeo

La resistencia de Euler a pandeo ( $f_{E_i}$ ) es un parámetro que se usa para calcular la carga máxima que puede soportar una barra esbelta antes de que pierda su estabilidad y se doble de forma repentina. Se expresa mediante:

$$f_{E_i} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{c,i}}{(k_i \cdot L_{c,i})^2 \cdot A_c}, \quad i = 1,2 \quad (1.58)$$

donde:

- $E$ : Módulo de elasticidad del material. [N/m<sup>2</sup>]
- $k$ : Factor de longitud efectiva. Depende de las condiciones de apoyo en los extremos. Debido a su complejidad de cálculo, se considera que el elemento se encuentra biarticulado ( $k = 1$ ), estando del lado de la seguridad.
- $L_{c,i}$ : Longitud del elemento. [m]
- $I_{c,i}$ : Momento de inercia de la sección (Ecuación (1.47)). [m<sup>4</sup>]
- $A_c$ : Área de la sección. [m<sup>2</sup>]

##### 1.6.4.4.1.2 Resistencia característica a pandeo reducida

La resistencia característica a pandeo reducida es un valor que tiene en cuenta que, en la práctica, las barras esbeltas no alcanzan la resistencia teórica de pandeo calculada según la fórmula Euler, sino que se inestabilizan antes de alcanzar dicho valor. Factores como las imperfecciones, desviaciones geométricas o tensiones residuales en el material reducen la resistencia real. Por eso, a partir de la resistencia crítica teórica, se aplica una reducción para obtener un valor más realista y seguro, que es el que se usa para comprobar que los elementos estructurales cumplen con los requisitos de estabilidad.

La resistencia característica a pandeo reducida se expresa de la siguiente manera:

$$f_{ak} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \quad (1.59)$$

De modo que:

- $a = 1 + \left(\frac{f_y}{f_{Ea}}\right)^2$
- $b = \left(\frac{2f_y^2}{f_{Ea} \cdot f_{Eh}} - 1\right) \sigma_h$
- $c = \sigma_h^2 \left(1 + \left(\frac{f_y}{f_{Eh}}\right)^2\right) - f_y^2$

- $f_{E,cc}$ : Resistencia elástica a pandeo según los diferentes estados de carga (Ecuación (1.64)).
- $f_y$ : Límite elástico del material (Acero S355). [MPa]

#### 1.6.4.4.1.3 Resistencia característica de diseño a pandeo reducida

La resistencia característica de diseño a pandeo reducida es el valor final que se utiliza para las verificaciones de estabilidad, teniendo en cuenta tanto la reducción como el factor de seguridad del material, y se calcula mediante:

$$f_{akd} = \frac{f_{ak}}{\gamma_M} \quad (1.60)$$

donde:

- $f_{ak}$ : Resistencia característica a pandeo reducida (Ecuación (1.59)).
- $\gamma_M$ : Factor del material (Ecuación (1.69))

#### 1.6.4.4.1.4 Esbeltez reducida del elemento

La esbeltez reducida del elemento es un parámetro adimensional que permite evaluar la influencia de la geometría esbelta de una barra en su comportamiento frente al pandeo. Este valor se obtiene comparando la resistencia característica reducida a pandeo con la resistencia crítica de Euler. Esta se obtiene a partir de:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_{ak}}{f_{Ei}}} \quad (1.61)$$

donde:

- $f_{ak}$ : Resistencia característica a pandeo reducida (Ecuación (1.59)).
- $f_{Ei}$ : Resistencia de Euler a pandeo (Ecuación (1.58)).

#### 1.6.4.4.1.5 Resistencia característica a pandeo en elementos

La resistencia característica a pandeo de los elementos es el valor que refleja la capacidad real de un elemento estructural para resistir la compresión antes de inestabilizarse globalmente por pandeo y se calcula de la siguiente manera:

$$f_{kc} = \begin{cases} (1,0 - 0,28 \bar{\lambda}^2) \cdot f_{ak} & \text{cuando } \bar{\lambda} \leq 1,34 \\ \left(\frac{0,9}{\bar{\lambda}^2}\right) \cdot f_{ak} & \text{cuando } \bar{\lambda} > 1,34 \end{cases} \quad (1.62)$$

donde:

- $\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida del elemento estructural (Ecuación (1.61)).
- $f_{ak}$ : Resistencia característica a pandeo reducida (Ecuación (1.59)).

#### 1.6.4.4.1.6 Resistencia característica de diseño a pandeo en elementos

La resistencia característica de diseño a pandeo en elementos es el valor final que se utiliza en las verificaciones para asegurar que los elementos no fallarán por pandeo global y se obtiene mediante:

$$f_{kcd} = \frac{f_{kc}}{\gamma_M} \quad (1.63)$$

donde:

- $f_{kc}$ : Resistencia característica del elemento frente a pandeo global (Ecuación (1.62)).
- $\gamma_M$ : Factor del material (Ecuación (1.69))

#### 1.6.4.4.2 Parámetros de comprobación de inestabilidad local

##### 1.6.4.4.2.1 Resistencia elástica de pandeo

La resistencia elástica de pandeo es la carga crítica que puede soportar una chapa delgada sometida a compresión antes de perder estabilidad y empezar a pandearse, mientras el material sigue comportándose de manera elástica. En este cálculo se tiene en cuenta el efecto de la relación de Poisson, ya que las deformaciones transversales influyen en la rigidez frente al pandeo.

La siguiente expresión permite estimar esta resistencia en función de las propiedades del material, las dimensiones de la chapa y un coeficiente de reducción que proviene de los diferentes estados de carga.

$$f_{E,cc} = C_{cc} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{L}\right)^2 \quad (1.64)$$

donde:

- $C_{cc}$  : Coeficiente de reducción en función del estado de carga (Ecuación (1.65)).
- $E$ : Módulo de elasticidad el material.
- $\nu$ : Coeficiente de Poisson del material.
- $t$ : Espesor de la sección.
- $L$ : Longitud del elemento.

Dicho coeficiente de reducción se evalúa mediante la siguiente expresión:

$$C_{cc} = \Psi_{cc} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\rho \cdot \xi_{cc}}{\Psi_{cc}}\right)^2} \quad (1.65)$$

donde:

$-\Psi_{cc}, \rho, \xi_{cc}$ : Parámetros obtenidos de la .

Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros del coeficiente de reducción de pandeo para cilindros delgados (Fuente: [40])

Tipo de carga	$\Psi_{cc}$	$\xi_{cc}$	$\rho$
Esfuerzo axial	1	$0.702 \cdot Z_L$	$0.5 \cdot \left(1 + \frac{r_1}{150t}\right)^{-0.5}$
Flexión	1	$0.702 \cdot Z_L$	$0.5 \cdot \left(1 + \frac{r_1}{300t}\right)^{-0.5}$
Torsión y esfuerzo cortante	5.34	$0.856 \cdot Z_L^{1/4}$	0.6
Presión hidrostática	2	$1.04 \cdot \sqrt{Z_L}$	0.6

Dependiendo de la geometría de la sección,  $Z_L$  cuantifica la curvatura relativa en función de su geometría y material:

$$Z_L = \frac{L^2}{r_1 \cdot t} \cdot \sqrt{1 - \nu^2} \quad (1.66)$$

donde:

- $L$ : Longitud del elemento. [m]
- $r_1$ : Radio interior de la sección. [m]
- $t$ : Espesor de la sección. [m]
- $\nu$ : El coeficiente de Poisson del material.

Sin embargo, para elementos muy esbeltos, se acondiciona la resistencia elástica a pandeo (Ecuación (1.64)). Esta se ve notablemente reducida debido a su mayor sensibilidad a fenómenos de inestabilidad local. Por ello es necesario acondicionar esta resistencia para tener en cuenta específicamente los efectos del esfuerzo cortante y de la presión hidrostática, que pueden ser críticos en chapas delgadas con alta esbeltez

$$\begin{cases} f_{E,\tau} = 0,25 E \left(\frac{t}{r}\right)^{3/2} & \text{si } \frac{L}{r} > 3,85 \cdot \sqrt{\frac{r}{t}} \\ f_{E,h} = 0,25 E \left(\frac{t}{r}\right)^{3/2} & \text{si } \frac{L}{r} > 2,25 \cdot \sqrt{\frac{r}{t}} \end{cases} \quad (1.67)$$

#### 1.6.4.4.2.2 Esbeltez reducida de la chapa

La esbeltez reducida de la chapa es un parámetro adimensional que permite evaluar la susceptibilidad de la chapa a experimentar inestabilidades locales, teniendo en cuenta tanto su resistencia como las tensiones a las que está sometida. Para su cálculo se emplea la siguiente expresión:

$$\bar{\lambda}_s^2 = \frac{f_y}{\sigma_{eq}} \left( \frac{\sigma_{a0}}{f_{Ea}} + \frac{\sigma_{m0}}{f_{Em}} + \frac{\sigma_{h0}}{f_{Eh}} + \frac{\tau}{f_{E\tau}} \right) \quad (1.68)$$

donde:

- $\sigma_{eq}$ : Tensión equivalente de la expresión adaptada de Von Mises (Ecuación (1.57))
- $f_{E,cc}$ : Resistencia elástica a pandeo de diferentes estados de carga (Ecuación (1.58))
- $\sigma_{a0}$ : Se considera el menor valor entre la tensión axial y cero.
- $\sigma_{m0}$ : Se considera el menor valor entre la tensión flectora y cero.
- $\sigma_{h0}$ : Se considera el menor valor entre la tensión hidrostática y cero
- $\tau$ : Tensión tangencial en la dirección del eje de la barra (Ecuación (1.53)).

#### 1.6.4.4.2.3 Factor de seguridad del material

El factor de seguridad del material ( $\gamma_M$ ) frente a los efectos de inestabilidad es un coeficiente que se aplica a la resistencia nominal del material para tener en cuenta las incertidumbres asociadas a fenómenos de pandeo. Este factor no es constante, sino que depende de la esbeltez reducida de la chapa ( $\bar{\lambda}_s$ ), ya que los elementos más esbeltos son más sensibles a dichas inestabilidades locales y requieren mayores márgenes de seguridad.

La expresión adoptada ajusta el valor de  $\gamma_M$  en función de la esbeltez y se asegura que los cálculos sean conservadores y se minimice el riesgo de fallo. Este viene definido por:

$$\gamma_M = \begin{cases} 1,15 & \text{para } \bar{\lambda}_s < 0,5 \\ 0,85 + 0,60 \cdot \bar{\lambda}_s & \text{para } 0,5 \leq \bar{\lambda}_s \leq 1,0 \\ 1,5 & \text{para } \bar{\lambda}_s > 1,0 \end{cases} \quad (1.69)$$

donde:

- $\bar{\lambda}_s$ : Esbeltez reducida de la chapa (Ecuación (1.68)).

#### 1.6.4.4.2.4 Resistencia característica a pandeo reducida en chapas

La resistencia característica a pandeo reducida en chapas es el valor con el que se evalúa la capacidad real de una chapa delgada para resistir el pandeo local cuando está sometida a compresión. Este valor se obtiene a partir del límite elástico del material, ajustándolo según la esbeltez de la chapa, ya que cuanto más esbelta sea la chapa, mayor será su tendencia a pandearse localmente y menor será su resistencia efectiva. La siguiente expresión permite calcular esta resistencia reducida en función de la esbeltez reducida previamente calculada.

Determina la resistencia característica de chapas delgadas frente a pandeo local, en función de su esbeltez.

$$f_{ks} = \frac{f_y}{\sqrt{1 + \bar{\lambda}_s^4}} \quad (1.70)$$

donde:

- $f_{ks}$ : Resistencia característica de la chapa frente a pandeo local.
- $f_y$ : Límite elástico del material. [MPa]
- $\bar{\lambda}_s$ : Esbeltez reducida de la chapa (Ecuación (1.68))

#### 1.6.4.4.2.5 Resistencia característica de diseño de pandeo en chapas

Este valor define el valor de cálculo de la resistencia frente a pandeo local para la comprobación.

$$f_{ksd} = \frac{f_{ks}}{\gamma_M} \quad (1.71)$$

donde:

- $f_{ks}$ : Resistencia característica de la chapa frente a pandeo local. (Ecuación (1.70))
- $\gamma_M$ : Factor del material (Ecuación (1.69))

#### 1.6.4.5 Parámetro de deformación angular

El parámetro de deformación angular cuantifica la magnitud del movimiento rotacional de la subestructura en su parte superior, asociado a la inclinación que experimenta bajo las acciones externas. Para su cálculo, se considera la resultante de las dos componentes ortogonales de giro, expresada como:

$$\theta_b = \sqrt{\theta_{roll}^2 + \theta_{pitch}^2} \quad (1.72)$$

donde:

- $\theta_{roll}$ : movimiento de balanceo lateral.
- $\theta_{pitch}$ : movimiento de inclinación de vaivén longitudinal.

#### 1.6.4.5 Criterios de verificación estructural

Una vez obtenidos todos los parámetros necesarios de inestabilidad, se procede a verificar el cumplimiento de todos los criterios establecidos por la normativa anteriormente citada. Estas normas incluyen la verificación de estados límite definidos en el diseño: los Estados Límite Últimos (ELU), que asegura que la estructura soporta las cargas sin colapsar; los Estados Límite de Servicio (ELS), que garantiza que las deformaciones y vibraciones permanecen dentro de rangos aceptables para su correcto funcionamiento y los Estados Límite de Fatiga (ELF), que evalúa la resistencia frente a los ciclos de carga que recibe a lo largo del tiempo.

Garantizar que cada uno de ellos se encuentra dentro de los límites definidos permite confirmar que la subestructura soportará las cargas previstas, evitará inestabilidades y mantendrá su integridad estructural durante toda su vida útil, cumpliendo así con los objetivos para los cuales fue diseñada.

##### 1.6.4.5.1 Estados Límites Últimos

En los siguientes apartados se recogen las verificaciones correspondientes a los Estados Límite Últimos, que incluyen la plastificación, el pandeo local y el pandeo global. Estas comprobaciones son utilizadas para evaluar la integridad y seguridad de la subestructura.

##### 1.6.4.5.1.1 Plastificación

Para garantizar la resistencia de las barras frente a los esfuerzos a los que están sometidas, se utiliza la expresión de la tensión de Von Mises. Es importante señalar que, en el código desarrollado, el valor de la tensión que se toma es el mayor de entre todos los nodos que componen cada elemento. Aunque en principio no importa en qué nodo del elemento se produzca esa tensión máxima, la discretización aplicada permite, durante las

fases de diseño, conocer con mayor detalle cómo se distribuyen las tensiones a lo largo de los elementos. Esta información resulta útil para identificar zonas críticas, permite conocer dónde se podría reforzar en las áreas más solicitadas o ajustar las dimensiones de las secciones en un punto en concreto, lo que facilita obtener una solución óptima y eficiente desde el punto de vista estructural.

Las tensiones no deben superar el límite elástico del material de diseño y se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_{VM} \leq \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (1.73)$$

donde:

- $\sigma_{VM}$ : Tensión de Von Misses (Ecuación (1.56)).
- $f_y$ : Límite elástico del material. [MPa]
- $\gamma_M$ : Factor del material (Ecuación (1.69))

#### 1.6.4.5.1.2 Pandeo local

Para verificar la estabilidad frente a pandeo local, se emplea la tensión equivalente de la chapa. Este valor de tensión debe ser inferior a la resistencia característica de diseño, garantizando que las chapas mantengan su estabilidad bajo las cargas previstas y se expresa mediante:

$$\sigma_{eq} \leq f_{ksd} \quad (1.74)$$

donde:

- $\sigma_{eq}$ : Tensión equivalente de la expresión adaptada de Von Misses (Ecuación (1.57))
- $f_{ksd}$ : Resistencia característica de diseño de pandeo en chapas. (Ecuación (1.71))

#### 1.6.4.5.1.3 Pandeo global

A diferencia de los apartados anteriores, en la verificación de pandeo global primero se evalúa si el elemento tiene una relación de esbeltez crítica con la ecuación (1.75); es decir, si puede inestabilizarse por pandeo global antes de alcanzar el límite elástico del material.

$$\left(\frac{kL_c}{r_i}\right)^2 \geq 2.5 \cdot \frac{E}{f_y} \quad (1.75)$$

donde:

- $k$ : Coeficiente de longitud efectiva (según condiciones de apoyo).

- $L_c$ : Longitud total del cilindro. [m]
- $r_i$ : Radio de giro de la sección [m]
- $E$ : Módulo de elasticidad del material de la barra. [N/m<sup>2</sup>]

En caso de cumplirse la desigualdad anterior, se realiza una segunda evaluación para determinar si el elemento satisface el criterio de pandeo global, que se expresa mediante la siguiente inecuación:

$$\frac{\sigma_{a0}}{f_{kcd}} + \frac{1}{f_{akd}} \left[ \left( \frac{\sigma_{m1}}{1 - \frac{\sigma_{a0}}{f_{E1}}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m2}}{1 - \frac{\sigma_{a0}}{f_{E2}}} \right)^2 \right]^{0.5} \leq 1.0 \quad (1.76)$$

donde:

- $f_{kcd}$ : Es la resistencia característica de cálculo frente a pandeo global del elemento (Ecuación (1.63)).
- $f_{akd}$ : Es la resistencia característica de diseño reducida del elemento frente a pandeo (Ecuación (1.60)).
- $\sigma_{m1,2}$ : Es la tensión generada por el momento flector principal en los diferentes planos. [Nm]
- $f_{E1,2}$ : Es la resistencia elástica a pandeo de Euler modificada para cada plano de flexión (Ecuación (1.58)).

#### 1.6.4.5.2 Estados Límites de Servicio

En los siguientes apartados se recogen las verificaciones correspondientes a los Estados Límite de Servicio (ELS), que comprueban que la subestructura mantiene unas deformaciones y un comportamiento dinámico compatibles con el funcionamiento correcto del aerogenerador. Para ello, se evalúan las deformaciones máximas en la base del aerogenerador (zona alta de la subestructura) y las frecuencias fundamentales del sistema estructural, evitando problemas de inclinación excesiva o resonancia.

##### 1.6.4.5.2.1 Deformaciones

Para asegurar que el aerogenerador funcione correctamente, es necesario que su base sea lo suficientemente rígida como para evitar que el eje se incline respecto a la vertical. Según lo que establece la norma DNVGL-ST-0126 [43], el máximo giro permitido es:

$$\theta_b \leq 0.25^\circ \quad (1.77)$$

#### 1.6.4.5.2.2 Resonancia

Con el fin de evitar fenómenos de resonancia, inducidos por las frecuencias de operación del rotor (1P) y por el paso de las palas (3P), la norma DNVGL-ST-0126 establece que la frecuencia natural del sistema estructural no debe coincidir dentro del intervalo de ninguno de estos rangos operativos.

Esta condición es fundamental, ya que durante el funcionamiento del aerogenerador se generan cargas cíclicas inevitables, tanto por desequilibrios del rotor, como por el llamado efecto sombra, que aparece cuando las palas pasan frente a la torre y modifican la carga aerodinámica, pudiendo incrementar las deformaciones y tensiones. Esto hace que se supere la capacidad resistente y se produzcan daños irreversibles en la subestructura.

Por este motivo, se impone el siguiente requisito para la frecuencia natural:

$$\frac{f_{1P,max}}{0,95} \leq f_n \leq \frac{f_{3P,min}}{1,05} \quad (1.78)$$

donde:

- $f_{1P,max}$ : Frecuencia natural generada por el giro del rotor (1P). [Hz]

$$f_{1P} = \frac{n(rpm)}{60} \quad (1.79)$$

- $f_{3P,min}$ : Frecuencia natural generada por el paso de las palas (3P). [Hz]

$$f_{3P,min} = 3 \cdot f_{1P,min} \quad (1.80)$$

El cumplimiento de esta condición asegura que la frecuencia natural del sistema se mantenga lo suficientemente alejada de las frecuencias excitadoras, con un margen aproximado del 5 %, lo que minimiza el riesgo de amplificación de las vibraciones y reduce la posibilidad de fatiga estructural.

#### 1.6.4.5.3 Estados Límites de Fatiga

La verificación frente a los Estados Límite de Fatiga resulta fundamental en el diseño de subestructuras de este tipo, dada la naturaleza cíclica de las cargas presentes. Para ello se compara el número de ciclos que la estructura puede resistir con el número de ciclos que se prevé que recibirá a lo largo de su vida útil, tal y como se establece en la norma DNVGL-RP-C203 [44].

$$N_{oleaje} \leq N_R \quad (1.81)$$

donde:

- $N_{oleaje}$ : Número de ciclos previsto por la acción del oleaje durante la vida útil.
- $N_R$ : Números de ciclos que resiste la estructura.

Los ciclos que puede soportar la subestructura se obtienen mediante el modelo de curvas S-N:

$$\log N_R = \log \bar{a} - m \log \left( \Delta\sigma \cdot \left( \frac{t}{t_{ref}} \right)^k \right) \tag{1.82}$$

donde:

- $\log \bar{a}$ : Intersección de la curva S-N
- $\Delta\sigma$ : Rango de tensiones inducidas por las cargas cíclicas.
- $t$ : Espesor de la sección. [m]
- $t_{ref}$ : Espesor de referencia (0,016 m para uniones soldadas).
- $k$ : Exponente de corrección por espesor. (0,001 m para uniones soldadas y 0 para el resto de la barra).
- $m$ : Pendiente de la curva S-N

La selección de las curvas S-N asociadas a los parámetros anteriormente indicados debe realizarse atendiendo al estado de exposición de las barras y uniones estructurales. En particular, se debe considerar si los elementos se encuentran en contacto con el aire, sumergidos en agua, o si disponen de sistemas de protección frente a la corrosión.

En este trabajo, los valores adoptados corresponden a la curva S-N bajo condiciones de protección catódica y se resumen en la siguiente Tabla 12:

Tabla 12. Valores de la curva S-N con estructuras con protección catódica

	Barra		Uniones	
	$N_R \leq 10^6$	$N_R > 10^6$	$N_R \leq 10^7$	$N_R > 10^7$
$m$	4	5	3	5
$\log \bar{a}$	14,917	17,146	12,18	16,13

Por otro lado, evaluar el número de ciclos que afectarán previsiblemente a la estructura entraña una gran complejidad, debido a la variabilidad de las condiciones marinas. Por lo que para estimar el número de ciclos provocado por el oleaje a lo largo de la vida útil del aerogenerador se utiliza la siguiente expresión:

$$N_{\text{oleaje}} = f \cdot \frac{50 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{T_{\text{oleaje}}} \quad (1.83)$$

donde:

- $f$ : Factor de frecuencia dependiente del cuantil estadístico usado para representar el oleaje (Ecuación (1.84)).
- $T_{\text{oleaje}}$ : Periodo característico de la ola para el estado de carga evaluado.

$$f = 1 - \sqrt[2920]{P} \quad (1.84)$$

donde:

- $P$ : Cuantil empelado para estimar la altura de la máxima ola para un año y para un periodo de retorno de 50 años (según la norma DNVGL-ST-0437 [25]).

## 1.7 Pruebas realizadas sobre el código desarrollado

Para comprobar el correcto funcionamiento del código desarrollado, se realizaron diversas pruebas de rendimiento: simular en distintos escenarios, introducir cambios en las propiedades físicas de los elementos y utilizar diferentes modelos de subestructura, concretamente el modelo OC4 [5] y el jacket OC4 optimizado [8].

El objetivo de este proceso es verificar que el código responde correctamente a las modificaciones introducidas, muestra adecuadamente las tensiones calculadas, indica con precisión qué elementos cumplen o no las verificaciones, si detecta los cambios introducidos y, por último, si genera el archivo de resultados en el formato esperado.

El Anexo I recoge todos estos resultados obtenidos en las distintas pruebas realizadas y el Anexo IV recoge todo el script. Es importante señalar que los resultados presentados en Anexo I se centran en aquellos elementos más significativos o en los que se ha realizado alguna comprobación específica, ya que en el resto de los elementos no se introdujeron cambios o su comportamiento resultó prácticamente idéntico al de la simulación sin modificaciones.

## 1.8 Definición del problema

El problema de estudio parte de la estructura propuesta por Couceiro et al. [8], tal y como se expuso en el apartado 1.5.3 de este documento. En dicho apartado se detallaron las principales características geométricas de la subestructura, así como los casos de carga considerados y la metodología empleada para su diseño iterativo.

Parte de esa información se retoma a continuación con el fin de establecer el marco de diseño en el que se desarrollará el resto del diseño propio.

### 1.8.1 Aerogenerador empleado

El aerogenerador empleado es el modelo de 5 MW desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), cuya información de relevancia para las simulaciones se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 13. Características principales del aerogenerador

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Diámetro del rotor	126	m	Diámetro total del rotor
Radio por pala	63	m	Longitud de cada pala
Velocidad de giro	6,9 – 12,1	rpm	Velocidad de rotación
Velocidad de arranque	3	m/s	Velocidad para iniciar operación
Velocidad nominal	11-13	m/s	Velocidad para potencia nominal
Velocidad de corte	25	m/s	Velocidad de detención por seguridad
Altura del buje	90,55	m	Altura total del buje

### 1.8.2 Subestructura empleada

El jacket OC4 optimizado propuesto por Couceiro et al. [8] será el punto de partida. Dicho diseño logra una reducción significativa de masa respecto al modelo OC4 original [5], pero no logra cumplir las verificaciones en los escenarios de carga más desfavorables propuestas en este estudio, empleando la herramienta OpenFAST.

A continuación, se resumen las principales características que la definen:

Tabla 14. Propiedades principales del material de la subestructura empleada

Propiedades principales del material	
Material	Acero VL EW36
Límite elástico	355 Mpa
Módulo de Young	210 GPa
Módulo de Poisson	0,3
Densidad	7.850 kg/m <sup>3</sup>
Tipo de sección	Tubulares huecas
Tipos de uniones	Soldadas

Tabla 15. Dimensiones principales de la secciones que componen a la subestructura empleada

	Modelo OC4 optimizado	
	Diámetro (m)	Espesor (m)
Leg 1 (L1)	0,50	0,02
Bracing 1(B1)	0,50	0,01
Leg 2 (L2)	0,77	0,01
Bracing 2 (B2)	0,50	0,01
Leg 3 (L3)	0,61	0,01
Bracing 3 (B3)	0,50	0,009
Leg 4 (L4)	0,56	0,01
Bracing 4 (B4)	0,50	0,01
Leg 5 (L5)	0,50	0,01
Arriostramiento H. (H)	0,50	0,009
Pilotes (P)	2,08	0,06
<b>Peso total</b>	293,840 Kg	
<b>Frecuencia natural</b>	0,219 Hz	

Los diferentes escenarios de carga y herramienta utilizada por Couceiro et al. [8] se recogen en el apartado 1.5.3.

### 1.8.3 Cargas de estudio

Las condiciones de carga analizadas en este estudio representan las solicitaciones reales del emplazamiento marino seleccionado, situado en aguas fronterizas entre los Países Bajos y el Reino Unido, ver Figura 21. Estas condiciones recogen los diferentes escenarios de viento y oleaje que caracterizan dicho emplazamiento, de acuerdo con la normativa vigente y los criterios de diseño establecidos.

Tabla 16. Resumen de los valores de carga ambientales del emplazamiento

Escenario	Tipo de carga	Modelo de viento	Modelo de oleaje
E-1	Condiciones normales de operación	NTM a 11,4 m/s	ESS a $H_{S,1} = 6,6 m$ $T_{S,1} = 9,15 s$
E-2	Carga extrema de oleaje y gran turbulencia	ETM a 11,4 m/s	EWB a $H_{m,50} = 15,33 m$ $T_{m,50} = 13,86 s$
E-3	Carga extrema de viento y oleaje	EOG a 11,4 m/s	EWB a $H_{m,1} = 15,33 m$ $T_{m,1} = 13,86 s$

## 1.9 Resultados obtenidos

En este apartado se muestran los resultados obtenidos para las diferentes subestructuras estudiadas (jacket OC4 optimizado y la diseñada en este trabajo), además del proceso empleado para llegar a la solución final diseñada. Para ello se ha seguido la metodología anteriormente planteada en el apartado 1.6 y un proceso iterativo de diseño que se explicará más adelante.

Tal y como se analizó en el apartado 1.8.1 y se resume en la Tabla 16, el escenario de carga más exigente corresponde al caso E2, que combina una velocidad de viento nominal con turbulencia extrema (ETM), con un oleaje extremo caracterizado para un periodo de 50 años. Es por ello por lo que el caso E2, con cargas alineadas a 45°, será el caso de referencia para las primeras iteraciones de la subestructura.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos para las dos subestructuras estudiadas, con el fin de reflejar el cumplimiento de la propuesta final.

### 1.9.1 Resultado obtenidos de la subestructura OC4 optimizada

La subestructura del jacket OC4 optimizada que propone Couceiro et al. [8] no cumple los criterios estructurales para los estados de carga estudiados en este trabajo, siendo estos los valores que representan las cargas reales del emplazamiento descrito previamente.

Además del código desarrollado, que permite verificar numéricamente el comportamiento estructural, la Figura 31 muestra gráficamente en forma de mapa de color las tensiones de Von Misses en cada elemento que compone la subestructura. Esta representación permite visualizar de forma global y rápida la distribución de tensiones en todo el conjunto, facilitando así la identificación de las zonas más solicitadas. Esto permite orientar de manera precisa en función de las cargas cuáles son los elementos más afectados por cada estado de carga. De este modo es posible determinar con precisión los elementos estructurales más solicitados en cada estado de carga.

En el Anexo II se incluyen las tablas completas de resultados para los distintos casos estudiados. Estas tablas recogen, para cada elemento y escenario de carga, las tensiones de Von Misses calculadas y el cumplimiento o no de los criterios de verificación establecidos.

### 1.9.1.1 Estado Límite Último de la subestructura del jacket OC4 optimizada

#### 1.9.1.1.1 Plastificación

De todos los elementos analizados, el más solicitado resulta ser el elemento 1, en el caso E2 con cargas alineadas a 45°, cuyos valores se recogen en la Tabla 17 y que servirá como elemento de referencia para el resto de las comparaciones.

Tabla 17. Resultados obtenidos del elemento más solicitado de la subestructura OC4 optimizada

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	Local		Global		
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
1	1051,13	308,7	3,41	592,78	308,66	1,92	2,1	No Cumple

Como se puede observar en la Tabla 17, la subestructura OC4 modificada no cumple con ninguno de los requisitos estructurales. Si se sigue la formulación del apartado 1.6.4.5.1 donde se recogen los criterios de plastificación y pandeo, definidos como la relación entre el resultado calculado y el resultado máximo admisible, resultan superiores a la unidad. Esto indica que la tensión de Von Mises y la tensión equivalente en la chapa están superando la capacidad resistente del material.

Dichos incumplimientos pueden deberse a muchos factores, entre las que destaca la realización del estudio con diferentes herramientas.

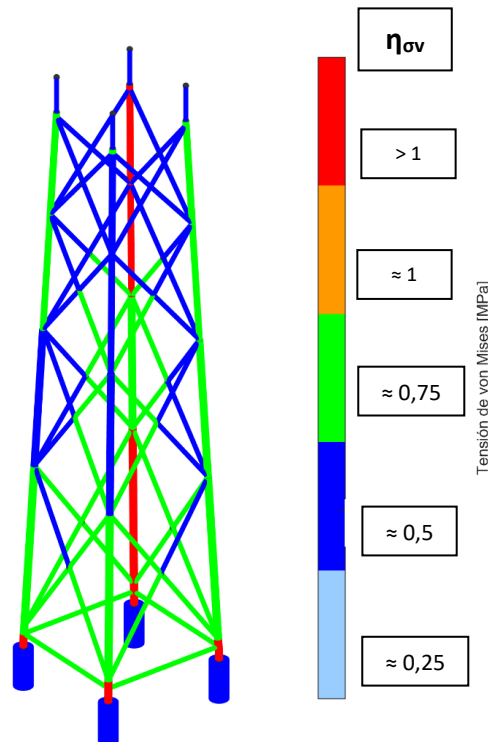


Figura 31. Respuesta estructural al estado de carga de la subestructura OC4 optimizada

### 1.9.1.2 Estado Límite Servicio

#### 1.9.1.2.1 Deformación angular

Este valor representa la inclinación total combinada, a partir de los ángulos de roll y pitch de la plataforma de la subestructura. Un valor inferior a  $0,25^\circ$  garantiza que el eje del rotor se mantenga lo más vertical posible evitando así problemas en el funcionamiento mecánico y aerodinámico de la turbina.

- **Ángulo roll:** representa el movimiento de balanceo lateral.
- **Ángulo pitch:** representa el movimiento de inclinación de vaivén longitudinal.

Ambos movimientos afectan la verticalidad del aerogenerador, por tanto estos deben combinarse para calcular el grado de inclinación total de la subestructura.

Tras aplicar la ecuación (1.73) para los máximos valores de desplazamiento en la zona alta de la subestructura, de todos los valores de simulación, se obtiene un valor final de  $0,423^\circ$ . Este resultado es muy superior al límite establecido por la normativa para permitir el correcto funcionamiento del aerogenerador.

#### 1.9.1.2.2 Frecuencia fundamental

Siguiendo los criterios estructurales en cuanto a frecuencias fundamentales, esta debe permanecer dentro del intervalo establecido por la normativa, que varía según el modelo de aerogenerador.

El aerogenerador empleado es el NREL 5MW, como se expuso en el apartado 1.5.2, presentando unas frecuencias de operación de: 0,212 para el caso de la frecuencia inducida por el funcionamiento del rotor (1P) y 0,328 Hz para las palas (3P) [6].

Para realizar el estudio de frecuencias fundamentales de las subestructuras se extrae la aceleración de la cima de la torre del aerogenerador. Para lograrlo, se utiliza la función *pwelch*, que estima la densidad espectral de potencia de la señal en función de la frecuencia y finalmente genera un gráfico en hercios. Según el estudio realizado en este trabajo refleja una frecuencia fundamental con valor de 0,219 Hz, situándose dentro del intervalo permitido por la normativa.

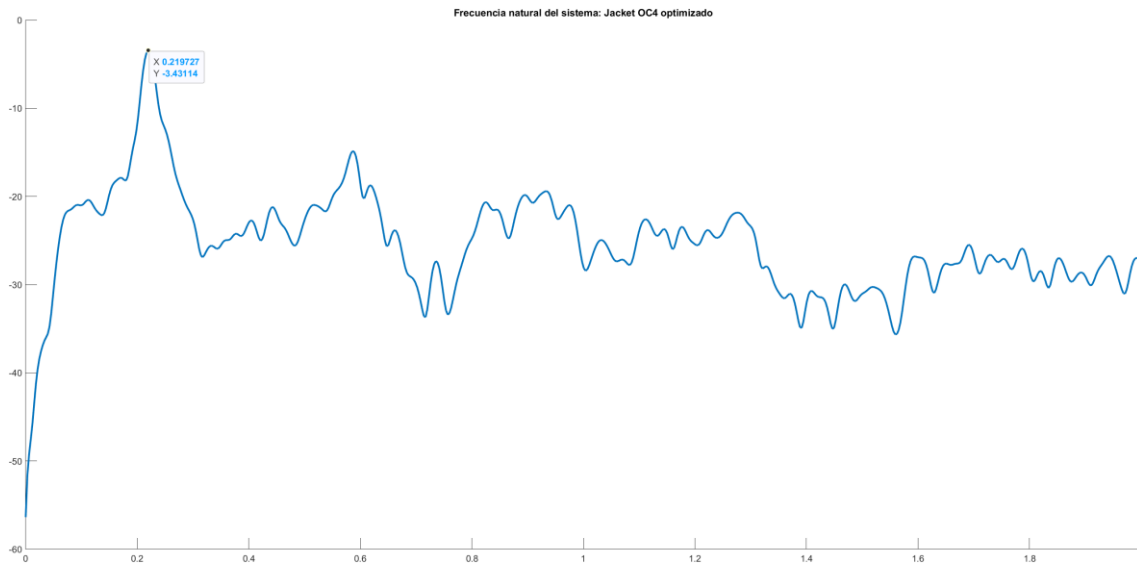


Figura 32. Frecuencia natural del sistema del jacket OC4 modificado

### 1.9.1.3 Estado Límite Fatiga

El análisis a fatiga de la subestructura se ha llevado a cabo considerando dos aspectos fundamentales, tal como se expuso en la formulación del apartado 1.6.5: la resistencia a fatiga de los elementos estructurales y la de sus uniones. Siguiendo la dinámica de los puntos anteriores del caso de referencia, se mostrarán los resultados del elemento 1.

Tabla 18. Resultados de la barra a fatiga del jacket OC4 modificado

ID barras	$\sigma_{vm}$ (MPa)	Barras					
		Fatiga a 1 año			Fatiga a 50 años		
		Recibe	Resiste	$\eta$	Recibe	Resiste	$\eta$
1	1051,61	1,74e+02	6,75e+02	0,26	7,87e+02	6,75e+02	1,17

Tabla 19. Resultados de la unión a fatiga del jacket OC4 modificado

ID barras	$\sigma_{vm}$ (MPa)	Uniones					
		Fatiga a 1 año			Fatiga a 50 años		
		Recibe	Resiste	$\eta$	Recibe	Resiste	$\eta$
1	1051,61	1,74e+02	1,17e+03	0,15	7,87e+02	1,17e+03	0,67

Visualizando la ecuación (1.82), se aprecia claramente la influencia del espesor de la sección en la estimación del número de ciclos que puede resistir. Por tanto, la subestructura OC4 modificada tiene en esta sección un espesor más pequeño que el necesario, como demuestra otro estado límite, que confirma su incumplimiento.

### 1.9.2 Proceso de Diseño

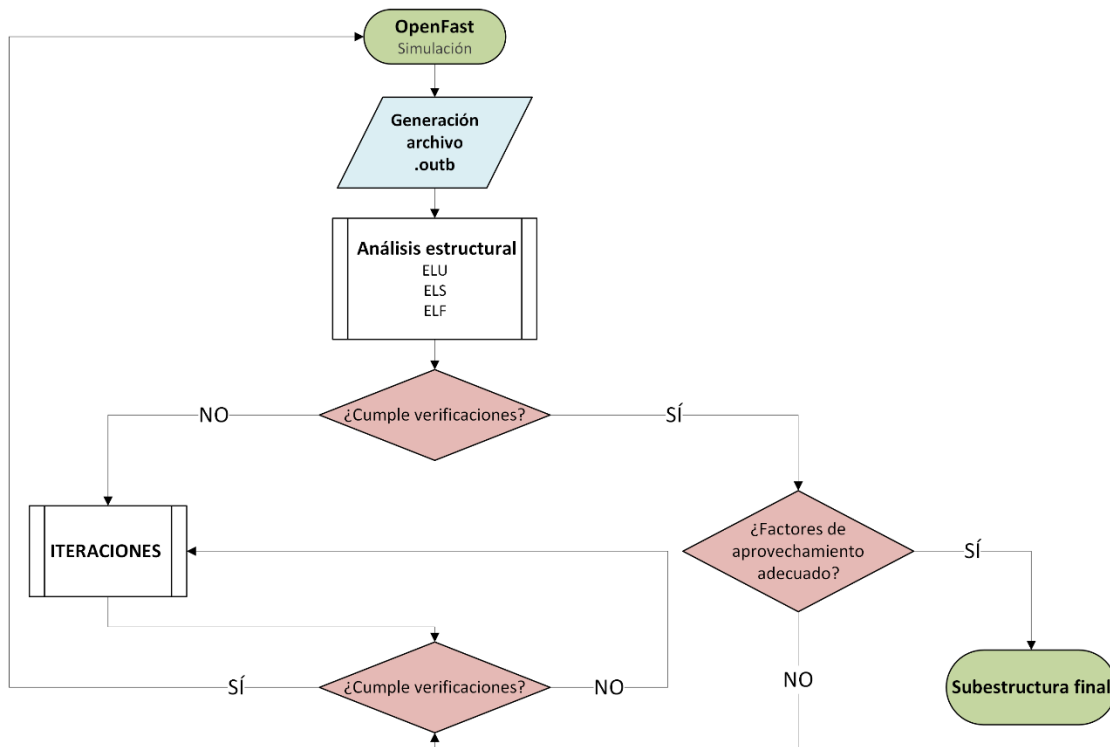


Figura 33. Diagrama de flujo del proceso iterativo

Con el objetivo de optimizar el diseño estructural del jacket OC4 modificado [8], garantizar el cumplimiento de los requisitos estructurales e intentar reducir la masa total de la subestructura frente al modelo OC4 [5], es necesario realizar un proceso de diseño iterativo. Con ayuda del código desarrollado, se pueden ajustar los parámetros físicos fundamentales de los elementos y evaluar su influencia en el comportamiento estructural tras los cambios. Véase la Tabla 20.

Si se analizan las ecuaciones ((1.42)-(1.43)) se puede observar que los radios interiores y exteriores de la sección están directamente ligados al diámetro y al espesor de la misma. Modificar estos parámetros permitiría reducir de forma proporcional las tensiones de Von Misses obtenidas en los elementos que conforman la estructura.

A continuación, se presentan las ecuaciones descompuestas, con el fin de justificar matemáticamente esta relación directa entre parámetros.

$$\sigma_x = \frac{N}{\pi(r_1^2 - r_2^2)} + \frac{M_y}{\frac{\pi}{4} \left( r_1^3 - \frac{r_2^4}{r_1} \right)} \cdot \sin(\theta) + \frac{M_x}{\frac{\pi}{4} \left( r_1^3 - \frac{r_2^4}{r_1} \right)} \cdot \cos(\theta) \quad (1.85)$$

$$\tau = -\frac{2V_y}{\pi(r_1^2 - r_2^2)} \cdot \sin(\theta) + \frac{2V_x}{\pi(r_1^2 - r_2^2)} \cdot \cos(\theta) + \frac{M_t}{\frac{\pi}{2} \left( r_1^3 - \frac{r_2^4}{r_1} \right)} \quad (1.86)$$

Cabe destacar que estos parámetros aparecen, en ambas ecuaciones, en el denominador de las expresiones de esfuerzo, por lo que un incremento de su valor conlleva directamente una disminución de tensión. Una vez fijado el valor de la tensión de Von Misses obtenido con la primera iteración, es posible obtener combinaciones nuevas que cumplan con las distintas verificaciones. Este ajuste semi-manual se repite tantas veces como sea necesario hasta alcanzar una solución óptima que satisfaga todos los criterios estructurales y normativos del diseño, para el caso de estudio de referencia.

Finalmente, una vez se alcanza una configuración que, en principio, cumple con los requisitos estructurales definidos, se realiza de nuevo una simulación completa del modelo en OpenFAST con los nuevos datos, para comprobar con el código desarrollado que la subestructura responde adecuadamente frente a las cargas consideradas. Es importante tener la certeza de que la configuración propuesta está próxima al cumplimiento, ya que cada simulación supone un elevado coste computacional y puede tardar varios días en completarse.

#### *1.9.2.1 Secuencia del muestreo iterativo realizado*

1. Realizar simulación en OpenFAST para los diferentes casos de estudio (Tabla 3).
2. Analizar resultados obtenidos con el código desarrollado en Matlab.
3. Identificar cuáles son los elementos más solicitados.
4. Cambiar parámetros del elemento (Tabla 20).
5. Modificar parámetros dentro del SubDyn.
6. Realizar simulación en OpenFAST nuevamente.
7. Verificar el cumplimiento estructural de todos los elementos de la subestructura.

Esta secuencia descrita se representa igualmente en la Figura 33, donde se ilustra el procedimiento a seguir ante cada una de las situaciones posibles.

Tabla 20. Evolución de las dimensiones principales durante las iteraciones del elemento 1

N.º Iteraciones	D1 (m)	T (mm)	Peso (Kg)	Plastificación		Pandeo		Fatiga	
				$\sigma_{vm}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	Local $\eta$	Global $\eta$	$\eta_{1 \text{ año}}$	$\eta_{50 \text{ años}}$
1	0,50	22,50	130	1051,13	3,41	1,92	2,10	0,36	1,61
2	0,60	22,50	160	775,95	2,51	1,35	1,43	0,08	0,35
3	0,70	42,50	340	340,48	1,10	0,57	0,59	0,00	0,01
4	0,81	45,80	440	248,07	0,80	0,40	0,40	0,00	0,00

La Tabla 20 recoge la evolución de las dimensiones principales y resultados estructurales del elemento 1 a lo largo de las distintas iteraciones del proceso de diseño. En ella se muestran los valores del diámetro exterior y del espesor de pared, así como el peso del elemento. También se presentan los resultados de las verificaciones frente a los principales modos de fallo: plastificación, pandeo y fatiga.

En la primera iteración, el elemento cuenta con unas dimensiones iniciales de 0,50 m de diámetro y 22,50 mm de espesor, con un peso de 130 kg y elevados índices de fallo, especialmente en plastificación, con un factor de aprovechamiento igual a 3,41, muy por encima del valor admisible. A medida que avanza el proceso iterativo, se incrementan progresivamente las dimensiones del elemento para mejorar su capacidad estructural y, en la última iteración, el elemento alcanza unas dimensiones de 0,81 m de diámetro y 45,80 mm de espesor, con un peso total de 440 kg.

En esta configuración final los factores de aprovechamiento quedan por debajo de los límites de establecidos (menor a la unidad), indicando su integridad estructural.

### 1.9.3 Resultados obtenidos de la subestructura diseñada

Tras finalizar todo el proceso iterativo, se llega a la siguiente estructura final:

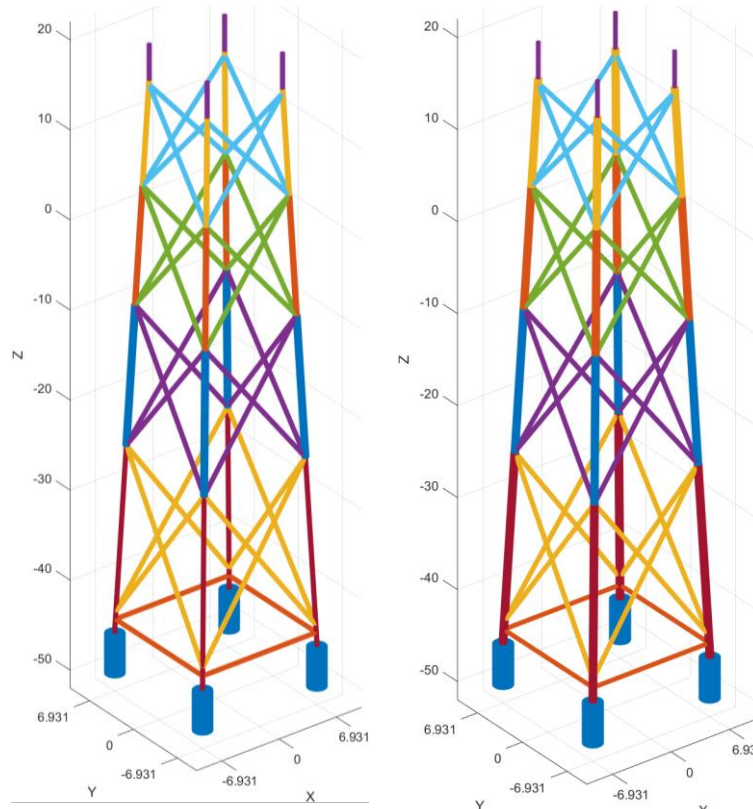


Figura 34. modelo OC4 optimizado frente a la subestructura final propuesta

Esta representación gráfica muestra las diferencias geométricas entre los elementos de las dos subestructuras: la propuesta por Couceiro et al. [8] y la obtenida finalmente tras el proceso iterativo de diseño descrito. En ella se aprecia visualmente el incremento de sección aplicado a los elementos de la subestructura final y, en particular, al elemento 1, que se mantiene como referencia, al igual que en los apartados anteriores.

Su rediseño ha supuesto, en general, un incremento de las dimensiones en los grupos de secciones principales, especialmente en los “Leg” (véase Figura 24). Por ejemplo, el grupo de elementos denominado Leg 1 aumenta su diámetro de 0,50 m a 0,82 m y su espesor de 22,50 mm a 45,80 mm, prácticamente duplicando sus dimensiones para cumplir los requisitos estructurales. Del mismo modo, otros “legs” como Leg 2, Leg 3 y Leg 4 también muestran incrementos tanto en diámetro como en espesor, mientras que el Leg 5 es el único que reduce sus dimensiones, al tratarse de elementos no funcionales en el diseño actual.

Por su parte, los “bracings” (B1, B2, B3, B4 y el arriostramiento horizontal H) experimentan ligeras reducciones en su diámetro, pasando de 0,50 m a valores de 0,48 m y 0,45 m respectivamente. No obstante, sus espesores sí aumentan, lo que permite mantener sus capacidades resistentes aún reduciendo sus diámetros. Esta estrategia permite optimizar su comportamiento estructural sin incrementar de forma significativa el peso total de la subestructura. Los pilotes, por el contrario, se mantienen sin cambios en sus dimensiones, ya que no son objeto de estudio en este trabajo.

Como consecuencia de todos estos cambios, la masa total de la subestructura aumenta de 293.840 kg a 359.381 kg, lo que supone aproximadamente un 22 % más de peso. Este incremento de masa es la consecuencia inherente para lograr una subestructura que cumpla con los requisitos estructurales. Además, estos cambios aportan una mayor rigidez a la subestructura, como refleja el aumento en la frecuencia fundamental del sistema, que pasa de 0,219 Hz a 0,268 Hz.

La siguiente Tabla 21 recoge la comparativa numérica entre la subestructura OC4 optimizada y la obtenida tras el rediseño, detallando los valores de los grupos principales, tal como se ha descrito anteriormente.

Tabla 21. Comparación en las dimensiones principales de las subestructuras

	Diámetro (m)		Espesor (mm)	
	Diseño de partida	Diseño final	Diseño de partida	Diseño final
Leg 1 (L1)	0,50	0,82	22,50	45,80
Bracing 1(B1)	0,50	0,48	15,00	15,00
Leg 2 (L2)	0,77	0,80	16,60	20,80
Bracing 2 (B2)	0,50	0,48	11,70	13,30
Leg 3 (L3)	0,61	0,79	15,20	19,50
Bracing 3 (B3)	0,50	0,48	9,90	12,70
Leg 4 (L4)	0,56	0,78	14,10	18,90
Bracing 4 (B4)	0,50	0,48	10,30	11,30
Leg 5 (L5)	0,50	0,35	11,00	8,00
Arriostramiento H. (H)	0,50	0,45	9,40	11,70
Pilotes (P)	2,08	2,08	60,00	60,00
<b>Peso total</b>	293.840 Kg		359.381 Kg	
<b>Frecuencia natural</b>	0,219 Hz		0,268 Hz	

Siguiendo la misma dinámica, los valores de todos estos grupos de elementos corresponden al caso E2, ya que, como se ha comentado anteriormente, es el más desfavorable para la subestructura por sus condiciones ambientales y por su ángulo de incidencia.

Todo el contenido descrito se encuentra recogido íntegramente en el Anexo III, que comienza con los resúmenes del modelo estudiado, proporcionando una visión general de sus principales características.

- **Resumen de la subestructura:** recoge sus propiedades y configuración básica
- **Resumen del grupo de secciones:** detalla las dimensiones y características geométricas de los distintos elementos que componen la subestructura.
- **Resumen de las comprobaciones:** sintetiza los resultados de los valores máximos obtenidos durante las verificaciones estructurales realizadas (Tabla 22).

Tabla 22. Resumen de las verificaciones estructurales realizadas

ELU			
Comprobaciones	Valor máximo	Valor real	¿Cumple?
Plastificación del material	308,7 MPa	303,11 MPa	Cumple
Pandeo local del elemento	308,69 MPa	166,11 MPa	Cumple
Pandeo global del elemento	1	0,57	Cumple
ELS			
Comprobaciones	Valor máximo	Valor real	¿Cumple?
Giro de la plataforma	0.25°	0,243°	Cumple
Resonancia	$0,212 < f_n < 0,328 \text{ Hz}$	0,268 Hz	Cumple
ELF			
Comprobaciones (barras)	Valor máximo (Resiste)	Valor real (Recibe)	¿Cumple?
Número de ciclos a 1 año	9,79e+04	1,74e+02	Cumple
Número de ciclos a 50 años	9,79e+04	7,87e+02	Cumple
Comprobaciones (uniones)	Valor máximo (Resiste)	Valor real (Recibe)	¿Cumple?
Número de ciclos a 1 año	3,96e+04	1,74e+02	Cumple
Número de ciclos a 50 años	3,96e+04	7,87e+02	Cumple

A continuación, en los siguientes apartados se aborda la identificación de los elementos de la subestructura. Este apartado incluye :

- **Identificación de los nodos:** se especifica su posición y enumeración.
- **Identificación de las barras:** Se especifica su geometría, longitud, numeración de cada elemento y muestra los nodos que conectan dichas barras.

Finalmente, se presentan las comprobaciones de las secciones, donde se evalúa el comportamiento estructural de los elementos frente a diferentes estados límite. Aquí se muestran todas las tablas resultantes del estudio.

- **Estado Límite Último de las barras:** detalla las tablas de verificaciones ELU.
- **Estado Límite de Fatiga de las barras:** detalla las tablas de verificaciones ELF.

### 1.9.3.1 Estados Límite Último

Al igual que se realizó en el apartado anterior del modelo OC4 optimizado, para esta subestructura diseñada también se realizará el análisis del elemento 1 de referencia.

Se obtienen los siguiente resultados:

Tabla 23. Resultados obtenidos del elemento más solicitado de la subestructura diseñada

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	Local			Global	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
1	303,11	308,7	0,98	166,11	308,69	0,54	0,57	Cumple

La Figura 35 muestra el mapa de color con las tensiones de Von Mises en cada elemento de la subestructura, lo que permite visualizar de forma global y rápida la distribución de tensiones e identificar las zonas más solicitadas.

A diferencia de la subestructura OC4 optimizada, esta no presenta ningún elemento ni grupo de sección en color rojo, indicando que sus coeficientes de uso se sitúan en torno al 75 – 98%.

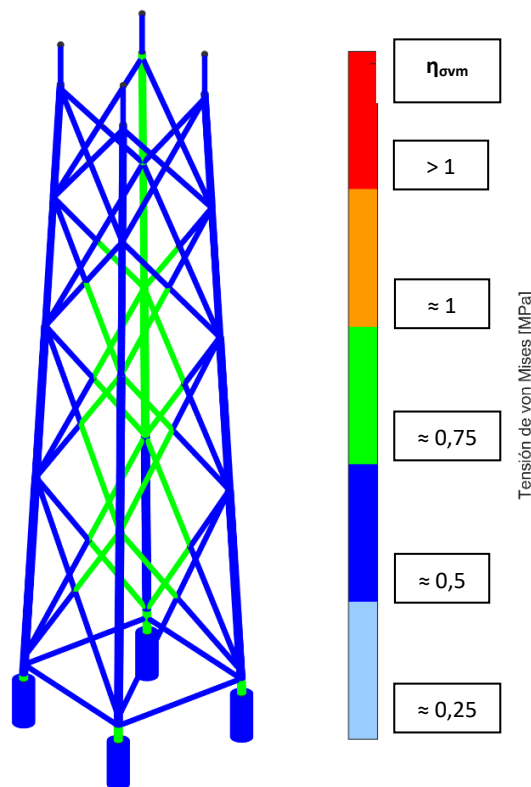


Figura 35. Respuesta estructural al estado de carga de la subestructura diseñada

Los valores del coeficiente de aprovechamiento obtenidos en la Tabla 23 confirman que el elemento de referencia en este apartado cumple con los requisitos del Estado Límite Último. Se observa que el coeficiente de plasticidad, asociado a la tensión de Von Mises, es el más elevado, lo que indica que este elemento tiene mayor probabilidad de fallo por este criterio antes que por inestabilidad.

El cumplimiento de este elemento puede considerarse un buen indicativo de que la estructura está correctamente dimensionada, dado que, como se señaló en el apartado 1.9.1, es el elemento más solicitado. No obstante esta conclusión debe verificarse también para el resto de los casos de carga.

Todas las tablas correspondientes a esta subestructura se recogen en el Anexo III.

### 1.9.3.2 Estados Límite Servicio

#### 1.9.3.2.1 Deformación angular

Al igual que con el cálculo de la subestructura OC4 optimizada, para esta subestructura diseñada, el estudio realizado refleja una frecuencia fundamental con valor de 0,243 Hz, situándose dentro del intervalo permitido por la normativa.

#### 1.9.3.2.2 Frecuencia fundamental

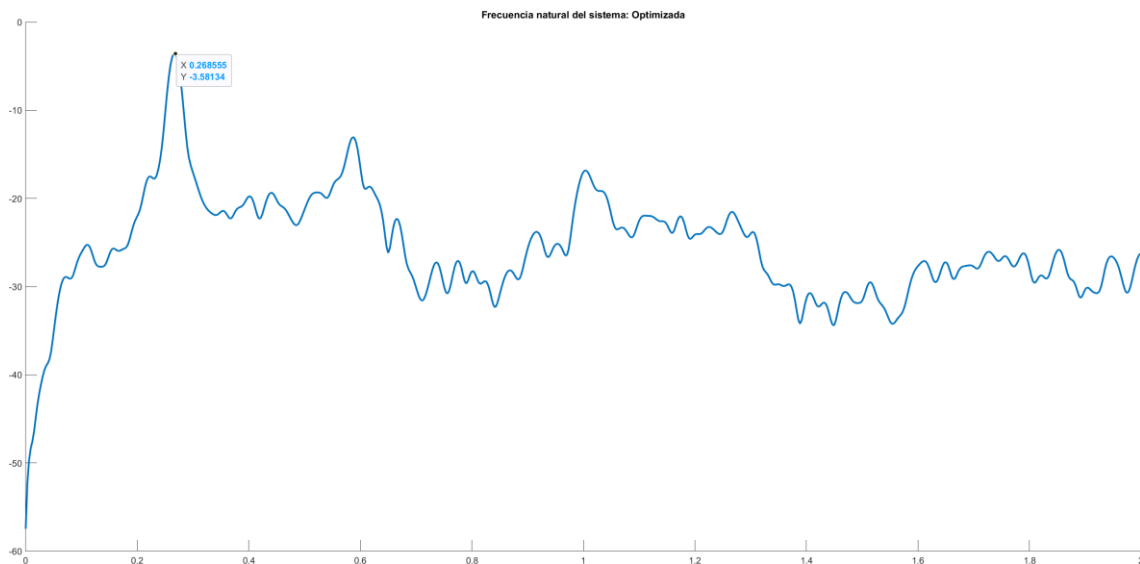


Figura 36. Frecuencia fundamental del sistema de la subestructura diseñada

### 1.9.3.3 Estados Límite Fatiga

Los resultados del análisis a fatiga de los dos componentes de la subestructura se resumen en las tablas que se presentan a continuación. Cabe señalar que los valores correspondientes a un año de operación han sido omitidos, dado su carácter despreciable en comparación con los resultados obtenidos para un horizonte de 50 años que resultan relativamente bajos, incluso en este caso.

Tabla 24. Resultados de la barra a fatiga de la subestructura optimizada

		Barras					
		Fatiga a 1 año			Fatiga a 50 años		
ID barras	$\sigma_{vm}$ (MPa)	Recibe	Resiste	$\eta$	Recibe	Resiste	$\eta$
1	303,11	-	-	0,00	7,87e+02	9,79e+04	0,01

Tabla 25. Resultados de la unión a fatiga de la subestructura optimizada

		Uniones					
		Fatiga a 1 año			Fatiga a 50 años		
ID barras	$\sigma_{vm}$ (MPa)	Recibe	Resiste	$\eta$	Recibe	Resiste	$\eta$
1	303,11	-	-	0,00	7,87e+02	3,96e+04	0,02

## 1.10 Conclusiones

En este apartado se recogen las principales conclusiones del trabajo, así como algunas propuestas de mejora orientadas a optimizar el proceso de diseño desarrollado.

El crecimiento de la energía eólica offshore refuerza la utilidad y relevancia de trabajos como este, que contribuyen a mejorar las soluciones estructurales en un sector cada vez más exigente. El emplazamiento considerado aporta un valor añadido al análisis, ya que las condiciones de carga evaluadas resultan especialmente representativas para cimentaciones fijas y reflejan la realidad del Mar del Norte, zona ampliamente utilizada para este tipo de actividad. Por lo que respecta al aerogenerador empleado, cabe destacar que se trata de un modelo ampliamente validado, con un comportamiento contrastado y utilizado como referencia en numerosos estudios y publicaciones.

En cuanto a la subestructura inicial, se parte de un diseño estructural infradimensionado, que no cumple con la normativa vigente y que pone de manifiesto la necesidad de un proceso de rediseño. La integración del entorno de simulación de OpenFAST más el código propio desarrollado en Matlab aplicado en este trabajo, permiten corregir los incumplimientos detectados mediante un proceso iterativo de diseño sobre los parámetros clave: el diámetro y el espesor de las secciones tubulares. Con ello se reducen de manera significativa los esfuerzos aplicados en los distintos elementos estructurales y se garantiza que la subestructura diseñada cumpla con los diferentes criterios normativos, aunque conlleva un aumento inherente de masa. No obstante, la metodología aplicada en este trabajo resulta suficiente para obtener una estructura capaz de resistir las cargas características del emplazamiento escogido y garantizar la vida útil para la que ha sido proyectada.

La solución final aún dista de ser completamente eficiente para el caso estudiado, ya que el objetivo principal del trabajo ha sido asegurar su cumplimiento estructural y, por tanto normativo, más que obtener la estructura más eficiente posible. Algunos elementos que ya cumplían los criterios en el diseño inicial y que ahora trabajan por debajo de su capacidad resistente podrían ser redimensionados en futuras iteraciones, lo que permitiría reducir parte del peso adicional añadido y avanzar hacia una solución más eficiente.

Por otro lado, se podría estudiar una posible mejora de aplicación al OpenFAST, para que el software pueda ser capaz de realizar las subdivisiones aplicadas en este trabajo, 112 elementos, en lugar de limitarlo a tan solo 99 elementos. Esto evitaría la necesidad de realizar dos simulaciones por cada escenario de carga, lo cual actualmente representa una limitación práctica en términos de tiempo, eficiencia y un gran coste computacional.

Otra posible mejora podría ser el desarrollo de una interfaz gráfica interactiva, que facilite la visualización del comportamiento estructural durante las simulaciones. Disponer de una herramienta capaz de representar de forma visual las deformaciones, tensiones o modos de vibración, incluso pudiendo introducir pequeñas animaciones, facilitaría la interpretación de los resultados. Esto resultaría beneficioso tanto para quienes realizan el estudio como para quienes reciben la información ajena al mismo, contribuyendo así en el flujo de toma de decisiones de diseño.

## 1.11 Referencias

- [1] National Renewable Energy Laboratory. OpenFAST. 2025. Disponible en: <https://github.com/OpenFAST> (Accedido: 18 Junio 2025).
- [2] Iberdrola. Parques Eólicos Marinos. 2025. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/como-funciona-la-energia-eolica-marina> (Accedido: 16 Junio 2025).
- [3] Romero-Monzón, A.J.; Romero-Sánchez, C.; Álamo, G.M.; Padrón, L.A. Can a Simple Static-Equivalent Model Be Used to Predict Major Trends in the Dynamic Structural Response of Monopile Offshore Wind Turbines? *Appl. Sci.* 2025, 15, 1633.
- [4] McCoy, A.; Musial, W.; Hammond, R.; Mulas Hernando, D.; Duffy, P.; Beiter, P.; Perez, P.; Baranowski, R.; Reber, G.; Spitsen, P. OffshoreWindMarket Report: 2024 Edition; Technical Report; National Renewable Energy Laboratory (NREL): Golden, CO, USA, 2024.
- [5] Jonkman, J.; Robertson, A. Offshore Code Comparison Collaboration Continuation (OC4). NREL Tech. Rep. 2011, NREL/TP-5000-54124.
- [6] Jonkman, J.; Butterfield, S.; Musial, W.; Scott, G. Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development; Technical Report; National Renewable Energy Lab. (NREL): Golden, CO, USA, 2009.
- [7] Jalbi, S.; Bhattacharya, S. Concept design of jacket foundations for offshore wind turbines in 10 steps. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2020, 139, 106357.
- [8] Couceiro, I.; Paris, J.; Navarrina, F.; Guizan, R.; Colominas, I. Optimization of offshore steel jackets: Review and proposal of a new formulation for time-dependent constraints. *Arch. Comput. Methods Eng.* 2020, 27, 1049-1069.
- [9] *European Commission. Commission Decision 2010/477/EU on Criteria and Methodological Standards on Good Environmental Status of Marine Waters; European Commission: Brussels, Bélgica, 2010.*
- [10] Saur Energy. Global Wind Report 2024. 2024. Disponible en: [https://img.saurenergy.com/2024/05/gwr-2024\\_digital-version\\_final-1-compressed.pdf](https://img.saurenergy.com/2024/05/gwr-2024_digital-version_final-1-compressed.pdf) (Accedido: 16 Junio 2025).
- [11] Bošnjaković, M.; Martinović, M.; Đokić, K. Application of Artificial Intelligence in Wind Power Systems. *Appl. Sci.* 2025, 15, 2443.
- [12] El Orden Mundial. Mapa de la Energía Eólica en los Mares de Europa. 2025. Disponible en: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/mapa-energia-eolica-mares-europa/> (Accedido: 28 Junio 2025).
- [13] Seaway7. Final Jacket Foundation Installed on Seagreen. 2025. Disponible en: <https://www.seaway7.com/final-jacket-foundation-installed-on-seagreen/> (Accedido: 28 Junio 2025).
- [14] de Vries, W. Final Report WP 4.2: Support Structure Concepts for Deep Water Sites: Deliverable D4.2.8. *UpWind Project* 2011.
- [15] Virrarubia López, M. *Ingeniería de la Energía Eólica*, 1st ed.; Alfaomega: 2011.

- [16] UPC Commons. Diseño y Cálculo del Soporte de un Aerogenerador Marino del Tipo Jacket. 2025. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/107566> (Accedido: 28 Junio 2025).
- [17] Interempresas. Partes de un Aerogenerador. 2025. Disponible en: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/163039-Los-aerogeneradores-tambien-generan-nuevas-estrategias-de-mecanizado.html> (Accedido: 16 Junio 2025).
- [18] Nord-Lock. La Energía Eólica Marina Avanza a Gran Velocidad. 2025. Disponible en: <https://www.nord-lock.com/es-es/panorama/conocimiento/2020/offshore-floating-wind-energy/> (Accedido: 16 Junio 2025).
- [19] Wind Energy The Facts. Tipología de Cimentación Marina. 2025. Disponible en: <https://www.wind-energy-the-facts.org/offshore-support-structures.html> (Accedido: 18 Junio 2025).
- [20] F. García, G. M. Álamo, L. A. Padrón, y J. J. Aznárez, «Rigidez dinámica de cimentaciones tripilotes para aerogeneradores marinos», [En línea]. Disponible en: <https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/107154>
- [21] Newtral. Cómo Aprovechar la Energía del Viento Mar Adentro. 2025. Disponible en: <https://www.newtral.es/parques-eolicos-marinos-europa/20220808/> (Accedido: 17 Junio 2025).
- [22] Transición Energética. Energía Eólica Marina. 2025. Disponible en: <https://www.transicionenergetica.es/energias-renovables/eolica-marina/> (Accedido: 17 Junio 2025).
- [23] Ega Master. Las Estructuras de la Eólica Offshore. 2025. Disponible en: <https://www.egamaster.com/es/ega-wiki/2021/6/25/las-estructuras-eolicas-offshore> (Accedido: 17 Junio 2025).
- [24] ZMS Cables. Cables Submarinos. 2025. Disponible en: <https://zmscables.es/nexans-cable-submarino-xlpe-celtic/> (Accedido: 18 Junio 2025).
- [25] *Offshore Standard DNV-ST-0437; Loads and Site Conditions for Wind Turbines.* DNV: Barum, Noruega; Det Norske Veritas AS: Shenzhen, China, 2016.
- [26] *IEC 61400-3-1:2019; Wind Energy Generation Systems—Part 3-1: Design Requirements for Fixed Offshore Wind Turbines.* International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2019.
- [27] *Offshore Standard DNV-OS-J101; Design of Offshore Wind Turbine Structures.* DNV: Barum, Noruega; Det Norske Veritas AS: Shenzhen, China, 2014.
- [28] Jalbi, S.; Bhattacharya, S. Concept design of jacket foundations for offshore wind turbines in 10 steps. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2020, 139, 106357.
- [29] Arany, L.; Bhattacharya, S. Design of monopiles for offshore wind turbines in 10 steps. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2016.
- [30] Romero-Sánchez, C.; Rodríguez-Bordón, J.D.; Padrón-Hernández, L.A. Influence of Foundation–Soil–Foundation Interaction on the Dynamic Response of Offshore Wind Turbine Jackets Founded on Buckets. *Appl. Sci.* 2025, 15

- [31] National Renewable Energy Laboratory. OpenFAST Turbine Models Repository. 2025. Disponible en: [https://github.com/NREL/turbine-models/tree/main/turbine\\_models/data/Offshore](https://github.com/NREL/turbine-models/tree/main/turbine_models/data/Offshore) (Accedido: 18 Junio 2025).
- [32] Chew, K.-H.; Tai, K.; Ng, E.Y.K.; Muskulus, M. Analytical gradient-based optimization of offshore wind turbine substructures under fatigue and extreme loads. *Mar. Struct.* 2016, 47, 23–41.
- [33] Continuum Mechanics and Structures Division ULPGC. Continuum Mechanics and Structures Division Website. 2025. Disponible en: <http://www.mmc.siani.es/> (Accedido: 18 Junio 2025).
- [34] National Renewable Energy Laboratory. OpenFAST Documentation. Release v4.0.0. 2024. Disponible en: <https://openfast.readthedocs.io/en/main/> (Accedido: 15 Junio 2025).
- [35] *IEC 61400-1:2020; Wind Energy Generation Systems–Part 1: Design Requirements. International Electrotechnical Commission: London, UK, 2020.*
- [36] *Offshore Standard DNV-OS-J101; Design of Offshore Wind Turbine Structures. DNV: Barum, Noruega; Det Norske Veritas AS: Shenzhen, China, 2014.*
- [37] Connell, J.R. The Spectrum of Wind Speed Fluctuations Encountered by a Rotating Blade of a Wind Energy Conversion System. 2025. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X8290072X> (Accedido: 22 Junio 2025).
- [38] *Det Norske Veritas. DNV-RP-C205: Environmental Conditions and Environmental Loads; Det Norske Veritas: Barum, Noruega, 2010.*
- [39] Damiani, R.; Jonkman, J.; Hayman, G. *SubDyn User's Guide and Theory Manual*; Technical Report; National Renewable Energy Lab.(NREL): Golden, CO, USA, 2015.
- [40] *Det Norske Veritas. DNV-RP-C202: Buckling Strength of Shells; Det Norske Veritas: Barum, Noruega, 2013.*
- [41] Budynas, R.G.; Nisbett, J.K. *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 8th ed.; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 2006.
- [42] Koç, M. Prediction of forming limits and parameter in the tube hydroforming process. *J. Mater. Process. Technol.* 2002, 124, 365–372.
- [43] *Det Norske Veritas. DNV-ST-0126: Support Structures for Wind Turbines; Det Norske Veritas: Barum, Noruega, 2016.*
- [44] *Det Norske Veritas. DNV-RP-C203: Fatigue Design of Offshore Steel Structures; Det Norske Veritas: Barum, Noruega, 2016.*

**Universidad de Las Palmas de Gran Canaria**  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES Y CIVILES  
GRADOS EN INGENIERÍA MECÁNICA

## Anexo I. Verificación del código

---

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SUBESTRUCTURA TIPO JACKET  
PARA EL AEROGENERADOR MARINO NREL 5MW

Trabajo de Fin de Grado

**Autor:** Saulo Manuel Román Cabrera

**Tutores:** Luis A. Padrón Hernández y Carlos Romero Sánchez

## Índice de contenido

A.1 Offshore Code Comparison Collaboration Continuation, phase I (Modelo OC4)	1
A.2 Modelo OC4 modificando varios elementos .....	1
A.3 Modelo OC4 modificando un único elemento.....	2
A.4 Jacket OC4 modificado con modificaciones en las condiciones ambientales .....	3

## Índice de tabla

Tabla AI 1. Comparativa entre los valores de los elementos afectados .....	2
Tabla AI 2. Comparativa entre los valores del elemento afectado .....	3
Tabla AI 3. Comparativa entre los valores iniciales y finales del elemento más afectado	4

En este anexo se presenta las pruebas de desempeño que se han llevado a cabo para validar el correcto funcionamiento del código desarrollado en Matlab, ofreciendo una primera impresión de la robustez del código.

## A.1 Offshore Code Comparison Collaboration Continuation, phase I (Modelo OC4)

El modelo base del jacket OC4, proporcionado por OpenFAST en su código abierto, se adopta como modelo de referencia en este anexo debido a su reconocido historial de funcionamiento estable [5]. Esta característica lo convierte en una referencia idónea para las verificaciones iniciales. Además, su diseño sobredimensionado proporciona un amplio margen de seguridad, lo cual permite introducir grandes modificaciones en los parámetros físicos de los elementos sin comprometer significativamente el comportamiento global del sistema.

Seguir esta estrategia inicial garantiza una validación robusta, antes de abordar configuraciones de simulación más complejas.

## A.2 Modelo OC4 modificando varios elementos

La primera modificación intencionada que se aplica al modelo OC4 consiste en reducir el diámetro y espesor de dieciséis elementos del jacket, con el objetivo de verificar que el código sea capaz de identificar y procesar correctamente dichas alteraciones. Esta prueba permite verificar la capacidad del código para detectar cualquier variación en los parámetros físicos del elemento.

Desde un enfoque lógico, la modificación de los parámetros característicos de las secciones podría probablemente generar incumplimientos en los criterios de plastificación o estabilidad. No obstante, como se ha mencionado previamente, en el caso del modelo OC4 base, la subestructura presenta un diseño sobredimensionado, lo que le confiere un margen suficientemente amplio para seguir cumpliendo los requisitos.

Toda la formulación matemática que rige el comportamiento estructural tras las modificaciones introducidas se recoge en el apartado 1.6.2. Además, en el apartado 1.9.2 también se explica la relación directa que hay entre tensiones y parámetros físicos de los elementos.

La Tabla AI 1 muestra claramente que, al modificar las secciones de los elementos, las tensiones de Von Mises aumentan en todos los casos analizados, lo cual indica que la estructura está trabajando más cerca de su máxima capacidad resistente. El hecho de que el código detecte correctamente estos cambios refuerza la confianza en su correcto funcionamiento.

Tabla AI 1. Comparativa entre los valores de los elementos afectados

Valores iniciales					Valores finales				
ID barra	Parámetros		Plastificación		ID barra	Parámetros		Plastificación	
	D1 (m)	t (m)	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$		D1 (m)	t (m)	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$
1	1,20	0,05	73,9	0,24	1	0,90	0,025	190,0	0,53
2	1,20	0,05	68,6	0,22	2	0,90	0,025	173,0	0,49
3	1,20	0,05	67,7	0,22	3	0,90	0,025	180,1	0,51
4	1,20	0,05	56,7	0,18	4	0,90	0,025	127,4	0,36
5	1,20	0,05	34,2	0,11	5	0,90	0,025	80,1	0,23
6	1,20	0,05	28,3	0,09	6	0,90	0,025	62,5	0,18
7	1,20	0,05	22,1	0,07	7	0,90	0,025	55,8	0,16
8	1,20	0,05	17,2	0,06	8	0,90	0,025	44,2	0,12
9	1,20	0,05	30,8	0,10	9	0,90	0,025	71,6	0,20
10	1,20	0,05	24,9	0,08	10	0,90	0,025	62,0	0,17
11	1,20	0,05	22,3	0,07	11	0,90	0,025	65,2	0,18
12	1,20	0,05	16,2	0,05	12	0,90	0,025	40,4	0,11
13	1,20	0,05	78,7	0,22	13	0,90	0,025	197,0	0,55
14	1,20	0,05	73,2	0,26	14	0,90	0,025	178,1	0,50
15	1,20	0,05	70,8	0,23	15	0,90	0,025	182,4	0,51
16	1,20	0,05	58,2	0,19	16	0,90	0,025	129,9	0,37

Como se mencionó en la página anterior, los parámetros físicos modificados fueron el diámetro y el espesor de pared de la sección. Estas modificaciones se introdujeron en el SubDyn y posteriormente se realizó la simulación. El cambio se aplicó sobre un material asociado a dichos elementos, motivo por el cual todos ellos presentan la misma variación de sección.

### A.3 Modelo OC4 modificando un único elemento

La segunda modificación aplicada al modelo consiste en reducir el diámetro y el espesor de pared de un único elemento del jacket, con el propósito de comprobar que el programa sigue siendo capaz de detectar y procesar correctamente estas alteraciones.

En la siguiente Tabla AI 2, se puede observar de manera clara las variaciones con respecto a la estructura inicial.

Tabla AI 2. Comparativa entre los valores del elemento afectado

Valores iniciales					Valores iniciales				
ID barras	Parámetros		Plastificación		ID barras	Parámetros		Plastificación	
	D1 (m)	t (m)	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$		D1 (m)	t (m)	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$
29	1,20	0,035	74,9	0,21	29	0,60	0,025	164,2	0,46

Al igual que en la prueba anterior, los resultados muestran un aumento localizado de las tensiones de Von Misses en el propio elemento modificado. No obstante, la estructura continúa cumpliendo con los criterios de resistencia por su sobredimensionamiento.

### A.4 Jacket OC4 modificado con modificaciones en las condiciones ambientales (Olas)

En esta prueba, a diferencia de los subapartados anteriores, se evalúa el código desarrollado utilizando el jacket OC4 modificado por Couceiro et al. [8]. Tal y como se expuso en el apartado 1.9.1 de la memoria, esta subestructura presenta diversos incumplimientos respecto a los requisitos estructurales. Por tanto, emplear este modelo bajo condiciones meteorológicas modificadas constituye un caso representativo para la verificación del código, cuyos resultados comparativos se presentan en la Tabla AI 3.

La única modificación introducida en esta verificación corresponde a las condiciones de oleaje, reduciendo la altura significativa de ola a 6 m y el periodo a 10 s. El resto de parámetros como el viento, propiedades físicas y el resto de condiciones de simulación, se mantienen sin cambios.

Es importante destacar que tan solo se muestran los valores de los elementos a los que más les afectan estos cambios, los que sobresalen del agua y reciben constantemente el impacto de las olas (L3,L4,B3,B4).

Tabla AI 3. Valores del jacket OC4 modificado sin cambio en olas

Modelo OC4 del jacket optimizado con modificaciones								
ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local			Global	
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
18	383,2	308,7	1,24	304,13	307,24	0,99	1,01	No Cumple
19	395,64	308,7	1,28	344,31	308,09	1,12	0,75	No Cumple
20	422,62	308,7	1,37	301,61	308,06	0,98	0,72	No Cumple
22	174,77	291,04	0,6	120,01	272,08	0,44	0,63	Cumple
23	172,22	308,7	0,56	132,03	302,37	0,44	0,56	Cumple
24	197,55	308,7	0,64	115,98	305,54	0,38	0,55	Cumple
26	127,38	308,7	0,41	125,48	307,55	0,41	0,29	Cumple
27	134,15	308,7	0,43	117,74	308,61	0,38	0,14	Cumple
28	165,73	308,7	0,54	114,4	308,51	0,37	0,21	Cumple
30	191,81	295,78	0,65	139,17	279,97	0,5	0,72	Cumple
31	213,11	308,7	0,69	155,04	302,71	0,51	0,68	Cumple
32	235,44	308,7	0,76	144,92	305,55	0,47	0,65	Cumple
69	243,31	273,07	0,89	201,37	237,99	0,85	0,74	Cumple
70	109,04	274,77	0,4	113,91	241,49	0,47	0,43	Cumple
71	102,61	274,24	0,37	93,12	240,42	0,39	0,39	Cumple
72	147,77	280,37	0,53	148,64	252,66	0,59	0,68	Cumple
73	103,19	272,77	0,38	103,19	237,37	0,43	0,36	Cumple
74	141,5	276,28	0,51	141,68	244,57	0,58	0,52	Cumple
75	216,59	298,26	0,73	194,01	283,95	0,68	0,66	Cumple
76	98,91	279,73	0,35	101,97	251,41	0,41	0,33	Cumple
77	222,48	293,03	0,76	208,4	275,44	0,76	0,66	Cumple
78	115,28	272,03	0,42	114,04	235,82	0,48	0,41	Cumple
79	113,24	272,33	0,42	92,71	236,45	0,39	0,39	Cumple
80	146,42	279,47	0,52	135,12	250,91	0,54	0,66	Cumple
81	107,78	266,47	0,4	95,24	223,84	0,43	0,37	Cumple
82	142,15	278,93	0,51	139	249,85	0,56	0,53	Cumple
83	205,85	306,37	0,67	207	296,16	0,7	0,62	Cumple
84	122,91	279,69	0,44	122,03	251,32	0,49	0,36	Cumple
85	132,53	299,91	0,44	106,11	286,52	0,37	0,4	Cumple
86	48,15	308,7	0,16	26,12	304,22	0,09	0,05	Cumple
87	129,26	285,22	0,45	131,19	261,77	0,5	0,44	Cumple
88	44,02	304,17	0,14	38,1	292,95	0,13	0,11	Cumple
89	92,44	277,34	0,33	94,39	246,69	0,38	0,32	Cumple
90	32,96	308,7	0,11	24,12	306,06	0,08	0,06	Cumple
91	70,02	306,75	0,23	52,73	296,72	0,18	0,18	Cumple
92	39,7	308,7	0,13	39,7	305,28	0,13	0,09	Cumple
93	128,73	302,67	0,43	103,81	290,72	0,36	0,39	Cumple

94	44,48	308,7	0,14	25,06	305,72	0,08	0,06	Cumple
95	119,37	268,65	0,44	104,76	228,59	0,46	0,42	Cumple
96	49,26	302,55	0,16	36,58	290,54	0,13	0,11	Cumple
97	96,56	268,83	0,36	85,26	228,98	0,37	0,34	Cumple
98	39,05	308,7	0,13	27,66	306,37	0,09	0,06	Cumple
99	59,03	308,7	0,19	56,2	300,1	0,19	0,19	Cumple
100	41,36	308,7	0,13	41,59	303,34	0,14	0,09	Cumple

Tabla AI 4. Valores del jacket OC4 modificado con cambio en olas

Modelo OC4 del jacket optimizado con modificaciones								
ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	Local		Global	¿Cumple?	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$		$\eta$
18	365,49	308,7	1,18	305,33	307,88	0,99	0,74	No Cumple
19	393,09	308,7	1,27	340,8	308,06	1,11	0,74	No Cumple
20	416,45	308,7	1,35	298,25	308,02	0,97	0,71	No Cumple
22	146,29	308,7	0,47	112,87	304,09	0,37	0,47	Cumple
23	162,11	308,7	0,53	127,4	305,14	0,42	0,5	Cumple
24	195,4	308,7	0,63	112,02	304,89	0,37	0,55	Cumple
26	113,52	308,7	0,37	111,51	308,58	0,36	0,08	Cumple
27	131,28	308,7	0,43	112,39	308,66	0,36	0,08	Cumple
28	163,72	308,7	0,53	120,58	308,52	0,39	0,21	Cumple
30	170,03	308,7	0,55	137,12	304,67	0,45	0,57	Cumple
31	190,82	308,7	0,62	150,64	305,2	0,49	0,62	Cumple
32	227,36	308,7	0,74	141,23	305,08	0,46	0,66	Cumple
69	69,93	288,72	0,24	31,8	268,05	0,12	0,17	Cumple
70	97,77	297,99	0,33	90,47	283,51	0,32	0,3	Cumple
71	33,15	299,46	0,11	33,14	285,82	0,12	0,08	Cumple
72	111,54	296,91	0,38	109,32	281,8	0,39	0,38	Cumple
73	44,48	301,62	0,15	39,33	289,14	0,14	0,12	Cumple
74	53,03	306,08	0,17	47,86	295,75	0,16	0,15	Cumple
75	45,08	308,7	0,15	45,2	302,13	0,15	0,11	Cumple
76	58,53	306,07	0,19	58,79	295,73	0,2	0,17	Cumple
77	57,64	297,53	0,19	47,33	282,78	0,17	0,17	Cumple
78	94,17	303,95	0,31	82,61	292,63	0,28	0,27	Cumple
79	40,85	296,45	0,14	32,05	281,06	0,11	0,09	Cumple
80	106,96	298,8	0,36	107,16	284,79	0,38	0,37	Cumple
81	48,38	292,78	0,17	38,48	275,02	0,14	0,12	Cumple
82	51,7	304,52	0,17	48,68	293,47	0,17	0,17	Cumple
83	47,65	308,7	0,15	47,87	302,94	0,16	0,1	Cumple
84	59,71	303,51	0,2	59,44	291,98	0,2	0,18	Cumple
85	129,71	298,55	0,43	107,55	284,4	0,38	0,39	Cumple

86	44,2	308,7	0,14	25	306,92	0,08	0,05	Cumple
87	107,09	293,28	0,37	97,26	275,86	0,35	0,32	Cumple
88	44,72	301,05	0,15	36,9	288,27	0,13	0,11	Cumple
89	64,21	303,59	0,21	48,57	292,1	0,17	0,17	Cumple
90	33,47	308,7	0,11	24,57	306,27	0,08	0,05	Cumple
91	53,46	308,7	0,17	53,33	302,12	0,18	0,16	Cumple
92	39,62	308,7	0,13	39,63	307,12	0,13	0,08	Cumple
93	130,97	301,34	0,43	101,87	288,71	0,35	0,38	Cumple
94	44,53	308,7	0,14	22,54	307,16	0,07	0,06	Cumple
95	100,53	305,02	0,33	94,75	294,21	0,32	0,3	Cumple
96	50,41	304,23	0,17	36,76	293,04	0,13	0,11	Cumple
97	64,68	302,45	0,21	53,26	290,39	0,18	0,19	Cumple
98	36,8	308,7	0,12	24,24	305,83	0,08	0,06	Cumple
99	63	308,7	0,2	45,78	302,11	0,15	0,16	Cumple
100	40,03	308,7	0,13	40,25	306,11	0,13	0,09	Cumple

Como se aprecia en los resultados, se observa una reducción general de todas las tensiones de Von Mises a lo largo los elementos afectados por la carga del oleaje. Esto indica que el código funciona correctamente y confirma su buen desempeño.



**Universidad de Las Palmas de Gran Canaria**  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES Y CIVILES  
GRADOS EN INGENIERÍA MECÁNICA

## Anexo II. Resultados estructurales del jacket OC4 optimizado (Couceiro)

---

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SUBESTRUCTURA TIPO JACKET  
PARA EL AEROGENERADOR MARINO NREL 5MW

Trabajo de Fin de Grado

**Autor:** Saulo Manuel Román Cabrera

**Tutores:** Luis A. Padrón Hernández y Carlos Romero Sánchez

## Índice de contenido

3.1 Resúmenes .....	1
3.1.1 Resumen de la subestructura .....	1
3.1.2 Resumen de los grupos de secciones .....	1
3.1.3 Resumen de las comprobaciones.....	2
3.2 Identificación de elementos estructurales .....	2
3.2.1 Identificación de los nodos.....	2
3.2.2 Identificación de las barras.....	4
3.3 Comprobaciones de las secciones.....	7
3.3.1 Estados Límite Último de las barras .....	7
3.1.4.2 Estado Límite de Fatiga de las barras.....	43

## Índice de tablas

Tabla AII 1. Resumen de la subestructura de Couceiro .....	1
Tabla AII 2. Resumen de las secciones .....	1
Tabla AII 3. Resumen de las comprobaciones realizadas .....	2
Tabla AII 4. Identificación de los nodos .....	2
Tabla AII 5. Identificación de las barras .....	4
Tabla AII 6. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELU).....	7
Tabla AII 7. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELU).....	10
Tabla AII 8. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELU)....	13
Tabla AII 9. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELU)....	16
Tabla AII 10. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELU).....	19
Tabla AII 11. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELU).....	22
Tabla AII 12. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELU)..	25
Tabla AII 13. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELU)..	28
Tabla AII 14. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELU).....	31
Tabla AII 15. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELU).....	34
Tabla AII 16. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELU)..	37
Tabla AII 17. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELU)..	40
Tabla AII 18. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELF).....	43
Tabla AII 19. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELF).....	46
Tabla AII 20. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELF) ..	49
Tabla AII 21. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELF) ...	52
Tabla AII 22. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELF).....	55
Tabla AII 23. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELF).....	58
Tabla AII 24. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELF) ...	61
Tabla AII 25. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELF) ...	64
Tabla AII 26. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELF).....	67
Tabla AII 27. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELF).....	70
Tabla AII 28. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELF) ...	73
Tabla AII 29. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELF) ...	76



### 3.1 Resúmenes

#### 3.1.1 Resumen de la subestructura

Tabla AII 1. Resumen de la subestructura de Couceiro

Resumen de la subestructura	
Material	VL EW36 (S355)
Número de secciones distintas	11
Altura del jacket (m)	70,15
Separación de la parte alta (m)	9,15
Separación de la base (m)	13,86
Número de pilotes	4

#### 3.1.2 Resumen de los grupos de secciones

Tabla AII 2. Resumen de las secciones

Niveles	Couceiro		
	Diámetro (m)	Espesor (mm)	Longitud (m)
Leg 1 (L1)	0,50	22,50	20,92
Bracing 1 (B1)	0,50	15,00	22,64
Leg 2 (L2)	0,77	16,60	15,72
Bracing 2 (B2)	0,50	11,70	19,58
Leg 3 (L3)	0,61	15,2	13,32
Bracing 3 (B3)	0,50	9,90	16,99
Leg 4 (L4)	0,56	14,1	11,79
Bracing 4 (B4)	0,50	10,3	14,83
Leg 5 (L5)	0,50	11,0	4,00
Arriostramiento H. (H)	0,50	9,4	13,79
Pilotes (P)	2,08	491,00	4,50
<b>Peso total</b>	293.840 Kg		
<b>Frecuencia natural</b>	0,219 Hz		

La definición de los diferentes niveles puede visualizarse en la Figura 24 de la memoria.

### 3.1.3 Resumen de las comprobaciones

Tabla AII 3. Resumen de las comprobaciones realizadas

ELU			
Comprobaciones	Valor máximo	Valor real	¿Cumple?
Plastificación del material	308,7 MPa	1051,13 MPa	No cumple
Pandeo local del elemento	308,66 MPa	592,78 MPa	No cumple
Pandeo global del elemento	1	3,41	No cumple
ELS			
Comprobaciones	Valor máximo	Valor real	¿Cumple?
Giro de la plataforma	0,25°	0,423°	No cumple
Resonancia	$0,212 < f_n < 0,328 \text{ Hz}$	0,217 Hz	Cumple
ELF			
Comprobaciones (barras)	Valor máximo (Resiste)	Valor real (Recibe)	¿Cumple?
Número de ciclos a 1 año	6,75e+02	1,74e+02	Cumple
Número de ciclos a 50 años	6,75e+02	7,87e+02	No cumple
Comprobaciones (uniones)	Valor máximo (Resiste)	Valor real (Recibe)	¿Cumple?
Número de ciclos a 1 año	1,17e+03	1,74e+02	Cumple
Número de ciclos a 50 años	1,17e+03	7,87e+02	Cumple

### 3.2 Identificación de elementos estructurales

#### 3.2.1 Identificación de los nodos

Los valores negativos corresponden a los sumergidos en el agua, tomándose como cota cero la superficie del agua (Véase el plano estructural).

Tabla AII 4. Identificación de los nodos

ID Nodo	Coordenadas (m)		
	Eje X	Eje Y	Eje Z
1	6,93	6,93	-45,00
2	6,93	6,93	-45,00
3	6,89	6,89	-44,00
4	6,85	6,85	-43,12
5	6,14	6,14	-24,61
6	-6,93	6,93	-45,00
7	-6,93	6,93	-45,00
8	-6,89	6,89	-44,00
9	-6,85	6,85	-43,12
10	-6,14	6,14	-24,61
11	-6,93	-6,93	-45,00
12	-6,93	-6,93	-45,00
13	-6,89	-6,89	-44,00
14	-6,85	-6,85	-43,12
15	-6,14	-6,14	-24,61

16	6,93	-6,93	-45,00
17	6,93	-6,93	-45,00
18	6,89	-6,89	-44,00
19	6,85	-6,85	-43,12
20	6,14	-6,14	-24,61
21	5,54	5,54	-8,922
22	5,02	5,02	4,378
23	4,59	4,59	15,65
24	4,57	4,57	16,15
25	-5,54	5,54	-8,922
26	-5,02	5,02	4,378
27	-4,59	4,59	15,65
28	-4,57	4,57	16,15
29	-5,54	-5,54	-8,922
30	-5,02	-5,02	4,378
31	-4,59	-4,59	15,65
32	-4,57	-4,57	16,15
33	5,54	-5,54	-8,922
34	5,02	-5,02	4,378
35	4,59	-4,59	15,65
36	4,57	-4,57	16,15
37	6,48	0	-33,37
38	-6,48	0	-33,37
39	0	6,48	-33,37
40	0	-6,48	-33,37
41	5,82	0	-16,37
42	-5,82	0	-16,37
43	0	5,82	-16,37
44	0	-5,82	-16,37
45	5,27	0	-1,95
46	-5,27	0	-1,95
47	0	5,27	-1,95
48	0	-5,27	-1,95
49	4,80	0	10,26
50	-4,80	0	10,26
51	0	4,80	10,26
52	0	-4,80	10,26
53	4,57	4,57	20,15
54	-4,57	4,57	20,15
55	4,57	-4,57	20,15
56	-4,57	-4,57	20,15
57	6,93	-6,93	-49,5
58	6,93	6,93	-49,5
59	-6,93	-6,93	-49,5

60	-6,93	6,93	-49,5
61	6,93	-6,93	-50,00
62	6,93	6,93	-50,00
63	-6,93	-6,93	-50,00
64	-6,93	6,93	-50,00

3.2.2 Identificación de las barras

Tabla AII 5. Identificación de las barras

ID Barra	Nodo 1	Nodo 2	ID Sección	Diámetro (m)	Espesor (mm)	Longitud (m)
1	1	2	L1	0,50	22,00	0,50
2	2	3	L1	0,50	22,00	1,00
3	3	4	L1	0,50	22,00	0,88
4	4	5	L1	0,50	22,00	18,54
5	6	7	L1	0,50	22,00	0,50
6	7	8	L1	0,50	22,00	1,00
7	8	9	L1	0,50	22,00	0,88
8	9	10	L1	0,50	22,00	18,54
9	11	12	L1	0,50	22,00	0,50
10	12	13	L1	0,50	22,00	1,00
11	13	14	L1	0,50	22,00	0,88
12	14	15	L1	0,50	22,00	18,54
13	16	17	L1	0,50	22,00	0,50
14	17	18	L1	0,50	22,00	1,00
15	18	19	L1	0,50	22,00	0,88
16	19	20	L1	0,50	22,00	18,54
17	5	21	L2	0,78	17,00	15,72
18	21	22	L3	0,62	15,00	13,32
19	22	23	L4	0,56	14,00	11,29
20	23	24	L4	0,56	14,00	0,50
21	10	25	L2	0,78	17,00	15,72
22	25	26	L3	0,62	15,00	13,32
23	26	27	L4	0,56	14,00	11,29
24	27	28	L4	0,56	14,00	0,50
25	15	29	L2	0,78	17,00	15,72
26	29	30	L3	0,62	15,00	13,32
27	30	31	L4	0,56	14,00	11,29
28	31	32	L4	0,56	14,00	0,50
29	20	33	L2	0,78	17,00	15,72
30	33	34	L3	0,62	15,00	13,32
31	34	35	L4	0,56	14,00	11,29
32	35	36	L4	0,56	14,00	0,50
33	8	3	H	0,50	9,00	13,79
34	13	8	H	0,50	9,00	13,79

35	13	18	H	0,50	9,00	13,79
36	18	3	H	0,50	9,00	13,79
37	4	37	B1	0,50	15,00	11,93
38	37	20	B1	0,50	15,00	10,71
39	19	37	B1	0,50	15,00	11,93
40	37	5	B1	0,50	15,00	10,71
41	9	38	B1	0,50	15,00	11,93
42	38	15	B1	0,50	15,00	10,71
43	14	38	B1	0,50	15,00	11,93
44	38	10	B1	0,50	15,00	10,71
45	4	39	B1	0,50	15,00	11,93
46	39	10	B1	0,50	15,00	10,71
47	9	39	B1	0,50	15,00	11,93
48	39	5	B1	0,50	15,00	10,71
49	19	40	B1	0,50	15,00	11,93
50	40	15	B1	0,50	15,00	10,71
51	14	40	B1	0,50	15,00	11,93
52	40	20	B1	0,50	15,00	10,71
53	5	41	B2	0,50	12,00	10,29
54	41	33	B2	0,50	12,00	9,29
55	20	41	B2	0,50	12,00	10,29
56	41	21	B2	0,50	12,00	9,29
57	10	42	B2	0,50	12,00	10,29
58	42	29	B2	0,50	12,00	9,29
59	15	42	B2	0,50	12,00	10,29
60	42	25	B2	0,50	12,00	9,29
61	5	43	B2	0,50	12,00	10,29
62	43	25	B2	0,50	12,00	9,29
63	10	43	B2	0,50	12,00	10,29
64	43	21	B2	0,50	12,00	9,29
65	20	44	B2	0,50	12,00	10,29
66	44	29	B2	0,50	12,00	9,29
67	15	44	B2	0,50	12,00	10,29
68	44	33	B2	0,50	12,00	9,29
69	21	45	B3	0,50	10,00	8,90
70	45	34	B3	0,50	10,00	8,09
71	33	45	B3	0,50	10,00	8,90
72	45	22	B3	0,50	10,00	8,09
73	25	46	B3	0,50	10,00	8,90
74	46	30	B3	0,50	10,00	8,09
75	29	46	B3	0,50	10,00	8,90
76	46	26	B3	0,50	10,00	8,09
77	21	47	B3	0,50	10,00	8,90
78	47	26	B3	0,50	10,00	8,09

79	25	47	B3	0,50	10,00	8,90
80	47	22	B3	0,50	10,00	8,09
81	33	48	B3	0,50	10,00	8,90
82	48	30	B3	0,50	10,00	8,09
83	29	48	B3	0,50	10,00	8,90
84	48	34	B3	0,50	10,00	8,09
85	22	49	B4	0,50	10,00	7,74
86	49	35	B4	0,50	10,00	7,09
87	34	49	B4	0,50	10,00	7,74
88	49	23	B4	0,50	10,00	7,09
89	26	50	B4	0,50	10,00	7,74
90	50	31	B4	0,50	10,00	7,09
91	30	50	B4	0,50	10,00	7,74
92	50	27	B4	0,50	10,00	7,09
93	22	51	B4	0,50	10,00	7,74
94	51	27	B4	0,50	10,00	7,09
95	26	51	B4	0,50	10,00	7,74
96	51	23	B4	0,50	10,00	7,09
97	34	52	B4	0,50	10,00	7,74
98	52	31	B4	0,50	10,00	7,09
99	30	52	B4	0,50	10,00	7,74
100	52	35	B4	0,50	10,00	7,09
101	24	53	L5	0,50	11,00	4,00
102	28	54	L5	0,50	11,00	4,00
103	32	56	L5	0,50	11,00	4,00
104	36	55	L5	0,50	11,00	4,00
105	58	1	P	2,08	491,00	4,00
106	57	16	P	2,08	491,00	4,00
107	60	6	P	2,08	491,00	4,00
108	59	11	P	2,08	491,00	4,00
109	62	58	P	2,08	60,00	0,50
110	61	57	P	2,08	60,00	0,50
111	64	60	P	2,08	60,00	0,50
112	63	59	P	2,08	60,00	0,50

3.3 Comprobaciones de las secciones

3.3.1 Estados Límite Último de las barras

Tabla AII 6. Caso El jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	Global $\eta$	¿Cumple?
1	308,99	308,7	1	180,17	308,38	0,58	0,79	No Cumple
2	372,37	308,7	1,21	178,35	306,46	0,58	0,91	No Cumple
3	356,77	308,7	1,16	152,54	307,54	0,5	0,81	No Cumple
4	252,07	308,7	0,82	211,92	308,22	0,69	1,34	No Cumple
5	167,91	308,7	0,54	180,01	308,62	0,58	0,44	Cumple
6	177,87	308,7	0,58	176,31	308,46	0,57	0,49	Cumple
7	185,44	308,7	0,6	188,04	308,65	0,61	0,42	Cumple
8	95,86	308,7	0,31	77,77	308,03	0,25	0,17	Cumple
9	161,21	308,7	0,52	168,94	308,61	0,55	0,47	Cumple
10	184,4	308,7	0,6	168,86	308,4	0,55	0,47	Cumple
11	175,64	308,7	0,57	176,82	308,66	0,57	0,41	Cumple
12	99,85	308,7	0,32	68,77	308,09	0,22	0,16	Cumple
13	361,13	308,7	1,17	187,6	308,4	0,61	0,85	No Cumple
14	384,84	308,7	1,25	189,5	306,57	0,62	0,92	No Cumple
15	369,05	308,7	1,2	164,21	307,65	0,53	0,84	No Cumple
16	262,69	308,7	0,85	221,8	308,25	0,72	1,44	No Cumple
17	215,27	308,7	0,7	182,88	306,75	0,6	0,5	Cumple
18	278,02	308,7	0,9	235,1	306,52	0,77	0,77	Cumple
19	308,63	308,7	1	260,48	307,1	0,85	0,82	Cumple
20	333,76	308,7	1,08	231,67	307,23	0,75	0,75	No Cumple
21	57,55	308,7	0,19	51,71	307,9	0,17	0,06	Cumple
22	85,54	308,7	0,28	67,64	307,01	0,22	0,11	Cumple
23	96,63	308,7	0,31	73,87	307,97	0,24	0,11	Cumple
24	112,49	308,7	0,36	81,43	308,33	0,26	0,18	Cumple
25	65,27	308,7	0,21	60,38	308	0,2	0,07	Cumple
26	99,85	308,7	0,32	78,86	307,24	0,26	0,11	Cumple
27	111,5	308,7	0,36	86,87	307,87	0,28	0,12	Cumple
28	127,39	308,7	0,41	76,49	308,2	0,25	0,2	Cumple
29	227,19	308,7	0,74	192,71	306,69	0,63	0,53	Cumple
30	298,78	308,7	0,97	251,21	306,76	0,82	0,83	Cumple
31	329,73	308,7	1,07	279,19	307,16	0,91	0,87	No Cumple
32	356,77	308,7	1,16	250,77	307,17	0,82	0,82	No Cumple
33	70,29	273,61	0,26	71,51	239,12	0,3	0,12	Cumple
34	51,99	244,83	0,21	46,6	164,43	0,28	0,1	Cumple
35	70,43	271,1	0,26	72,23	233,85	0,31	0,12	Cumple
36	54,58	273,71	0,2	55,96	239,32	0,23	0,08	Cumple

37	79,36	284,24	0,28	33,92	259,97	0,13	0,24	Cumple
38	112,6	285,96	0,39	71,58	263,12	0,27	0,35	Cumple
39	80,89	281,5	0,29	34,05	254,81	0,13	0,22	Cumple
40	111,45	286,51	0,39	71,53	264,11	0,27	0,32	Cumple
41	55,43	298,34	0,19	35,93	284,06	0,13	0,15	Cumple
42	45,35	302,61	0,15	31,31	290,63	0,11	0,13	Cumple
43	58,34	306,5	0,19	37,49	296,35	0,13	0,14	Cumple
44	50,34	308,7	0,16	31,18	299,68	0,1	0,12	Cumple
45	88,66	308,7	0,29	44,94	301,54	0,15	0,19	Cumple
46	69,25	308,7	0,22	60,35	305,16	0,2	0,17	Cumple
47	82,15	302,12	0,27	32,78	289,9	0,11	0,16	Cumple
48	72,28	308,7	0,23	56,84	304,33	0,19	0,16	Cumple
49	95,27	307,94	0,31	43,2	298,41	0,14	0,19	Cumple
50	76,13	308,7	0,25	53,67	303,56	0,18	0,18	Cumple
51	66,61	288,24	0,23	33,86	267,21	0,13	0,15	Cumple
52	72,6	308,7	0,24	61,05	303,74	0,2	0,17	Cumple
53	71,1	276,72	0,26	71,25	245,45	0,29	0,22	Cumple
54	32,45	294,6	0,11	32,16	278,06	0,12	0,1	Cumple
55	77,33	293,18	0,26	77,7	275,7	0,28	0,21	Cumple
56	36,07	305,66	0,12	36,46	295,13	0,12	0,08	Cumple
57	44,36	292,95	0,15	21,49	275,32	0,08	0,1	Cumple
58	30,16	298,58	0,1	25,3	284,44	0,09	0,08	Cumple
59	45,01	294,15	0,15	21,03	277,31	0,08	0,1	Cumple
60	35,46	295,59	0,12	22,81	279,66	0,08	0,08	Cumple
61	64,3	308,7	0,21	56,97	303,23	0,19	0,14	Cumple
62	46,84	308,7	0,15	43,05	301,11	0,14	0,1	Cumple
63	45,44	306,58	0,15	30,88	296,47	0,1	0,09	Cumple
64	50,04	306,38	0,16	39,79	296,18	0,13	0,11	Cumple
65	74,47	308,7	0,24	51,65	301,73	0,17	0,15	Cumple
66	52,45	294,89	0,18	30,99	278,53	0,11	0,1	Cumple
67	38,45	308,7	0,12	38,05	303,21	0,13	0,09	Cumple
68	47,84	308,7	0,15	47,83	302,82	0,16	0,11	Cumple
69	52,75	275,69	0,19	32,52	243,37	0,13	0,14	Cumple
70	110,43	279,59	0,39	103,16	251,13	0,41	0,41	Cumple
71	45,47	279,9	0,16	45,48	251,74	0,18	0,14	Cumple
72	108,94	279,54	0,39	101,71	251,04	0,41	0,4	Cumple
73	41,95	304,28	0,14	42,74	293,11	0,15	0,13	Cumple
74	44,09	289,33	0,15	43,57	269,13	0,16	0,15	Cumple
75	49,38	289,08	0,17	34,05	268,68	0,13	0,14	Cumple
76	39,8	284,72	0,14	34,14	260,86	0,13	0,15	Cumple
77	54,03	295,97	0,18	42,91	280,28	0,15	0,16	Cumple
78	62,57	298,26	0,21	62,31	283,95	0,22	0,19	Cumple
79	39,77	295,92	0,13	37,11	280,21	0,13	0,1	Cumple
80	73,64	294,29	0,25	74,11	277,53	0,27	0,26	Cumple

81	61,26	279,72	0,22	33,1	251,39	0,13	0,18	Cumple
82	64,33	290,29	0,22	56,92	270,79	0,21	0,2	Cumple
83	40,81	302,24	0,14	41,08	290,07	0,14	0,1	Cumple
84	87,36	296,64	0,29	87,38	281,36	0,31	0,28	Cumple
85	124,83	291,5	0,43	104,58	272,86	0,38	0,38	Cumple
86	46,71	302,8	0,15	24,44	290,92	0,08	0,08	Cumple
87	127,84	277,85	0,46	105,93	247,72	0,43	0,41	Cumple
88	39,64	300,78	0,13	21,45	287,85	0,07	0,07	Cumple
89	38,99	282,95	0,14	32	257,57	0,12	0,12	Cumple
90	20,09	308,7	0,07	20,03	306,99	0,07	0,03	Cumple
91	39,56	287,3	0,14	34,24	265,53	0,13	0,12	Cumple
92	15,94	308,7	0,05	15,63	306,87	0,05	0,02	Cumple
93	86,02	290,61	0,3	75,55	271,34	0,28	0,27	Cumple
94	40,33	308,7	0,13	20,78	306,08	0,07	0,08	Cumple
95	65,07	299,61	0,22	55,27	286,06	0,19	0,2	Cumple
96	41,02	297,12	0,14	40,86	282,14	0,14	0,12	Cumple
97	94,17	296,7	0,32	72,99	281,46	0,26	0,28	Cumple
98	41,13	308,7	0,13	20,62	306,89	0,07	0,08	Cumple
99	67,96	306,77	0,22	68,35	296,74	0,23	0,21	Cumple
100	39,83	297,26	0,13	40,04	282,36	0,14	0,12	Cumple
101	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
102	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
103	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
104	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
105	5,91	308,7	0,02	7,18	308,69	0,02	0,02	Cumple
106	5,6	308,7	0,02	7,25	308,69	0,02	0,02	Cumple
107	5,49	308,7	0,02	5,56	308,7	0,02	0,02	Cumple
108	5,1	308,7	0,02	5,32	308,7	0,02	0,02	Cumple
109	26,3	308,7	0,09	21,82	308,57	0,07	0,07	Cumple
110	30,81	308,7	0,1	22,99	308,56	0,07	0,07	Cumple
111	21,69	308,7	0,07	22,38	308,69	0,07	0,06	Cumple
112	19,59	308,7	0,06	20,19	308,69	0,07	0,06	Cumple

Tabla AII 7. Caso El jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local		Global		
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
1	409,33	308,7	1,33	224,58	308,45	0,73	0,94	No Cumple
2	440,78	308,7	1,43	228,29	307,46	0,74	0,97	No Cumple
3	429,52	308,7	1,39	219,16	307,94	0,71	0,91	No Cumple
4	306,82	308,7	0,99	267,64	308,37	0,87	1,68	No Cumple
5	211,33	308,7	0,68	98,17	307,9	0,32	0,6	Cumple
6	226,42	308,7	0,73	82,27	305,74	0,27	0,7	Cumple
7	203,26	308,7	0,66	42,71	304,96	0,14	0,58	Cumple
8	135,89	308,7	0,44	99,03	307,04	0,32	0,76	Cumple
9	242,71	308,7	0,79	254,16	308,65	0,82	0,53	Cumple
10	212,73	308,7	0,69	218,34	308,56	0,71	0,45	Cumple
11	240,06	308,7	0,78	242,13	308,67	0,78	0,44	Cumple
12	121,74	308,7	0,39	121,74	308,5	0,39	0,16	Cumple
13	229,91	308,7	0,74	111,79	307,91	0,36	0,65	Cumple
14	241,85	308,7	0,78	93,12	304,49	0,31	0,74	Cumple
15	217,59	308,7	0,7	33,02	301,93	0,11	0,61	Cumple
16	152,45	308,7	0,49	112,39	307,32	0,37	0,91	Cumple
17	268,85	308,7	0,87	230,86	307,25	0,75	0,57	Cumple
18	351,57	308,7	1,14	297,01	307,38	0,97	0,92	No Cumple
19	388,22	308,7	1,26	333,39	307,63	1,08	0,94	No Cumple
20	416,25	308,7	1,35	296,18	307,58	0,96	0,85	No Cumple
21	108,61	308,7	0,35	87,5	304,94	0,29	0,3	Cumple
22	147,49	308,7	0,48	114,27	303,86	0,38	0,48	Cumple
23	163,67	308,7	0,53	126,3	305,09	0,41	0,51	Cumple
24	182,62	308,7	0,59	111,15	305,45	0,36	0,51	Cumple
25	85,58	308,7	0,28	85,59	308,59	0,28	0,06	Cumple
26	98,83	308,7	0,32	98,83	308,57	0,32	0,09	Cumple
27	103,84	308,7	0,34	103,84	308,66	0,34	0,08	Cumple
28	103,85	308,7	0,34	105,06	308,58	0,34	0,15	Cumple
29	123,86	308,7	0,4	99,76	304,82	0,33	0,36	Cumple
30	168,31	308,7	0,55	135,41	304,37	0,44	0,57	Cumple
31	190,06	308,7	0,62	148,4	305	0,49	0,62	Cumple
32	222,68	308,7	0,72	136,29	305,42	0,45	0,62	Cumple
33	66,36	276,19	0,24	67,61	244,38	0,28	0,1	Cumple
34	62,93	255,21	0,25	57,08	198,03	0,29	0,11	Cumple
35	65,23	253,5	0,26	58,03	193,97	0,3	0,12	Cumple
36	68,88	272,38	0,25	70,43	236,55	0,3	0,1	Cumple
37	97,68	295,37	0,33	39,07	279,31	0,14	0,23	Cumple
38	105,95	305,77	0,35	57,93	295,3	0,2	0,26	Cumple
39	71,61	287,64	0,25	30,55	266,15	0,11	0,18	Cumple

40	98,1	308,7	0,32	75,59	301,95	0,25	0,27	Cumple
41	73,45	308,7	0,24	43,06	301,66	0,14	0,17	Cumple
42	52,33	308,7	0,17	47,31	302,88	0,16	0,15	Cumple
43	62,17	294,1	0,21	35,08	277,22	0,13	0,14	Cumple
44	48,23	308,7	0,16	35,51	299,93	0,12	0,12	Cumple
45	92,31	292,94	0,32	40,96	275,29	0,15	0,2	Cumple
46	100,42	308,7	0,33	62,7	301,59	0,21	0,23	Cumple
47	83,59	302,22	0,28	31,64	290,05	0,11	0,19	Cumple
48	98,38	307,93	0,32	70,85	298,4	0,24	0,27	Cumple
49	74,16	308,7	0,24	44,23	302,5	0,15	0,16	Cumple
50	58,94	308,7	0,19	46,71	302,74	0,15	0,15	Cumple
51	59,46	290,09	0,2	35,58	270,45	0,13	0,14	Cumple
52	49,66	306,71	0,16	34,98	296,66	0,12	0,13	Cumple
53	80,57	297,46	0,27	68,09	282,68	0,24	0,21	Cumple
54	32,23	273,67	0,12	21,04	239,24	0,09	0,07	Cumple
55	67,31	308,7	0,22	67,6	301,3	0,22	0,14	Cumple
56	56,96	308,7	0,18	57,32	305,42	0,19	0,13	Cumple
57	46,43	295,78	0,16	28,87	279,98	0,1	0,09	Cumple
58	45,91	308,7	0,15	34,67	302,85	0,11	0,1	Cumple
59	45,14	298,68	0,15	23,75	284,6	0,08	0,1	Cumple
60	35,21	290,16	0,12	21,42	270,56	0,08	0,07	Cumple
61	75,86	304,62	0,25	69,3	293,62	0,24	0,21	Cumple
62	30,09	289,8	0,1	30,07	269,94	0,11	0,07	Cumple
63	57,31	302,21	0,19	54,47	290,03	0,19	0,14	Cumple
64	47,11	308,7	0,15	47,09	301,64	0,16	0,13	Cumple
65	56,2	295,46	0,19	31,06	279,46	0,11	0,1	Cumple
66	54,75	308,7	0,18	31,21	302,16	0,1	0,1	Cumple
67	45,53	298,58	0,15	25,34	284,44	0,09	0,11	Cumple
68	29,51	298,22	0,1	28,67	283,87	0,1	0,08	Cumple
69	70,18	279,3	0,25	31,66	250,56	0,13	0,19	Cumple
70	93,25	285,97	0,33	83,93	263,14	0,32	0,3	Cumple
71	34,28	286,36	0,12	34,24	263,85	0,13	0,09	Cumple
72	107,96	289,53	0,37	108,63	269,46	0,4	0,39	Cumple
73	39,06	287,33	0,14	37,28	265,59	0,14	0,12	Cumple
74	41,7	293,23	0,14	41,48	275,78	0,15	0,14	Cumple
75	41,3	308,43	0,13	40,72	299,11	0,14	0,12	Cumple
76	49,85	289,18	0,17	50,21	268,86	0,19	0,17	Cumple
77	60,44	278,2	0,22	46,06	248,4	0,19	0,19	Cumple
78	88,61	290,65	0,3	83,85	271,4	0,31	0,28	Cumple
79	40,96	279,05	0,15	27,44	250,08	0,11	0,09	Cumple
80	104,28	288,12	0,36	102,19	266,98	0,38	0,38	Cumple
81	47,41	277,44	0,17	34,35	246,91	0,14	0,13	Cumple
82	44,52	288,94	0,15	39,36	268,44	0,15	0,16	Cumple
83	51,95	308,7	0,17	52,21	303,27	0,17	0,12	Cumple

84	58	289,89	0,2	57,7	270,1	0,21	0,18	Cumple
85	124	293,18	0,42	100,59	275,71	0,36	0,38	Cumple
86	38,66	308,7	0,13	20,76	305,98	0,07	0,05	Cumple
87	99,98	283,32	0,35	97,54	258,25	0,38	0,34	Cumple
88	40,06	292,11	0,14	28,99	273,9	0,11	0,11	Cumple
89	51,53	291,51	0,18	46,01	272,87	0,17	0,16	Cumple
90	27,27	308,7	0,09	18,63	304,53	0,06	0,05	Cumple
91	41,78	305,87	0,14	36,94	295,44	0,13	0,13	Cumple
92	36,28	308,7	0,12	36,27	305,76	0,12	0,08	Cumple
93	123,27	290,92	0,42	98,24	271,88	0,36	0,38	Cumple
94	36,59	308,7	0,12	16,72	305,85	0,05	0,06	Cumple
95	96,07	294,1	0,33	86,38	277,22	0,31	0,31	Cumple
96	43,62	288,26	0,15	29,38	267,23	0,11	0,11	Cumple
97	58,68	288,7	0,2	44,69	268,02	0,17	0,18	Cumple
98	30,79	308,7	0,1	19,33	303,95	0,06	0,06	Cumple
99	45,98	306,81	0,15	37,79	296,8	0,13	0,14	Cumple
100	35,53	308,7	0,12	35,77	304,2	0,12	0,09	Cumple
101	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
102	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
103	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
104	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
105	5,96	308,7	0,02	8,52	308,69	0,03	0,02	Cumple
106	5,48	308,7	0,02	5,62	308,69	0,02	0,02	Cumple
107	5,1	308,7	0,02	5,51	308,69	0,02	0,02	Cumple
108	6,82	308,7	0,02	6,9	308,7	0,02	0,02	Cumple
109	34,8	308,7	0,11	25,35	308,57	0,08	0,08	Cumple
110	21,25	308,7	0,07	11,17	308,41	0,04	0,07	Cumple
111	19,06	308,7	0,06	9,91	308,43	0,03	0,07	Cumple
112	28,91	308,7	0,09	29,67	308,69	0,1	0,07	Cumple

Tabla AII 8. Caso El jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local			Global	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
1	347,1	308,7	1,12	192,7	308,52	0,62	0,75	No Cumple
2	396,12	308,7	1,28	193,02	307,48	0,63	0,8	No Cumple
3	383,07	308,7	1,24	177,5	308,09	0,58	0,75	No Cumple
4	270,28	308,7	0,88	231,98	308,41	0,75	1,06	No Cumple
5	151,2	308,7	0,49	159,63	308,64	0,52	0,49	Cumple
6	185,26	308,7	0,6	177,96	308,5	0,58	0,5	Cumple
7	178,24	308,7	0,58	179,41	308,65	0,58	0,4	Cumple
8	102,95	308,7	0,33	83,63	307,97	0,27	0,17	Cumple
9	189,23	308,7	0,61	200,17	308,63	0,65	0,5	Cumple
10	213,91	308,7	0,69	188,43	308,43	0,61	0,46	Cumple
11	204,14	308,7	0,66	206,07	308,66	0,67	0,42	Cumple
12	122,14	308,7	0,4	86,43	308,39	0,28	0,17	Cumple
13	339,07	308,7	1,1	192,73	308,42	0,62	0,84	No Cumple
14	382,79	308,7	1,24	196,33	306,94	0,64	0,9	No Cumple
15	363,7	308,7	1,18	153,75	307,84	0,5	0,79	No Cumple
16	263,41	308,7	0,85	225,32	308,31	0,73	1,31	No Cumple
17	230,58	308,7	0,75	197,83	307,38	0,64	0,44	Cumple
18	301,86	308,7	0,98	254,34	307,51	0,83	0,71	Cumple
19	332,84	308,7	1,08	282,64	307,64	0,92	0,74	No Cumple
20	354,15	308,7	1,15	250,67	307,67	0,81	0,71	No Cumple
21	68,03	308,7	0,22	59,72	308,02	0,19	0,06	Cumple
22	98,08	308,7	0,32	76,89	306,88	0,25	0,11	Cumple
23	108,49	308,7	0,35	85,83	308,19	0,28	0,11	Cumple
24	125,87	308,7	0,41	81,1	308,35	0,26	0,19	Cumple
25	83,77	308,7	0,27	73,59	308,33	0,24	0,07	Cumple
26	117,53	308,7	0,38	94,84	308,39	0,31	0,11	Cumple
27	130,39	308,7	0,42	104,52	308,4	0,34	0,12	Cumple
28	145,45	308,7	0,47	91,01	308,35	0,3	0,21	Cumple
29	231,55	308,7	0,75	200,54	307,03	0,65	0,49	Cumple
30	308,24	308,7	1	259,31	307,15	0,84	0,77	Cumple
31	344,55	308,7	1,12	292,99	307,4	0,95	0,84	No Cumple
32	373,1	308,7	1,21	262,12	307,43	0,85	0,79	No Cumple
33	66,18	267,43	0,25	65,36	225,95	0,29	0,11	Cumple
34	66,53	251,78	0,26	58	189,87	0,31	0,12	Cumple
35	65,41	266,67	0,25	67,22	224,28	0,3	0,11	Cumple
36	65,13	280,76	0,23	66,51	253,4	0,26	0,09	Cumple
37	93,14	293,2	0,32	34,43	275,73	0,12	0,23	Cumple
38	115,85	295,14	0,39	71,12	278,94	0,25	0,31	Cumple
39	88,27	294,43	0,3	36,62	277,78	0,13	0,22	Cumple

40	108,11	302,89	0,36	76,67	291,05	0,26	0,31	Cumple
41	62,76	308,7	0,2	41,98	300,52	0,14	0,15	Cumple
42	43,4	308,7	0,14	40,86	303,2	0,13	0,14	Cumple
43	68	305,77	0,22	39,22	295,3	0,13	0,15	Cumple
44	54,5	308,7	0,18	33,61	300,01	0,11	0,12	Cumple
45	88,3	304,8	0,29	44,59	293,89	0,15	0,19	Cumple
46	77,8	308,7	0,25	53,38	303,02	0,18	0,18	Cumple
47	72,87	302,01	0,24	32,06	289,73	0,11	0,15	Cumple
48	73,79	308,7	0,24	59,1	304,66	0,19	0,19	Cumple
49	91,55	307,92	0,3	43,27	298,39	0,15	0,2	Cumple
50	82,35	308,7	0,27	53,5	302,56	0,18	0,22	Cumple
51	62,27	280,07	0,22	33,2	252,07	0,13	0,15	Cumple
52	81,27	308,7	0,26	59,05	301,1	0,2	0,19	Cumple
53	74,46	292,5	0,25	73,3	274,55	0,27	0,21	Cumple
54	30,52	291,89	0,1	30,44	273,52	0,11	0,08	Cumple
55	79,55	302,24	0,26	79,94	290,07	0,28	0,2	Cumple
56	47,33	308,7	0,15	47,64	304,12	0,16	0,11	Cumple
57	48,44	293,86	0,16	26,08	276,83	0,09	0,09	Cumple
58	41,28	308,7	0,13	41,24	304,46	0,14	0,1	Cumple
59	49,19	308,7	0,16	27,63	301,75	0,09	0,1	Cumple
60	37,58	290,96	0,13	25,11	271,94	0,09	0,05	Cumple
61	64,86	308,7	0,21	54,37	303,63	0,18	0,16	Cumple
62	39,44	298,08	0,13	26,08	283,66	0,09	0,08	Cumple
63	41,16	306,74	0,13	37,63	296,69	0,13	0,09	Cumple
64	42,96	308,7	0,14	42,04	304,05	0,14	0,12	Cumple
65	72,94	308,7	0,24	58,49	301,19	0,19	0,16	Cumple
66	50,68	308,7	0,16	32,6	301,39	0,11	0,1	Cumple
67	39,98	308,7	0,13	39,81	303,62	0,13	0,12	Cumple
68	36,91	306,96	0,12	36,87	297,01	0,12	0,08	Cumple
69	57,64	281,42	0,2	28,25	254,66	0,11	0,14	Cumple
70	110,26	276,33	0,4	105,06	244,67	0,43	0,39	Cumple
71	39,08	275,59	0,14	35,06	243,17	0,14	0,13	Cumple
72	110,27	280,46	0,39	107,31	252,83	0,42	0,41	Cumple
73	30,64	289,13	0,11	30,62	268,77	0,11	0,08	Cumple
74	44,78	292,78	0,15	44,48	275,03	0,16	0,16	Cumple
75	49,37	296,21	0,17	35,11	280,67	0,13	0,14	Cumple
76	40,31	292,39	0,14	40,61	274,38	0,15	0,11	Cumple
77	55,49	287,63	0,19	45,97	266,13	0,17	0,18	Cumple
78	61,78	289,99	0,21	59,33	270,26	0,22	0,2	Cumple
79	39,76	296,46	0,13	34,13	281,07	0,12	0,1	Cumple
80	80,16	295,42	0,27	78,56	279,4	0,28	0,3	Cumple
81	55,27	274,29	0,2	35,43	240,51	0,15	0,16	Cumple
82	71,9	293,66	0,24	59,06	276,5	0,21	0,23	Cumple
83	51,28	308,7	0,17	51,31	301,75	0,17	0,13	Cumple

84	89,39	296,17	0,3	89,32	280,6	0,32	0,29	Cumple
85	127,33	293,88	0,43	104,37	276,86	0,38	0,39	Cumple
86	46,03	302,93	0,15	26,17	291,11	0,09	0,08	Cumple
87	127,04	278,98	0,46	108,61	249,93	0,43	0,42	Cumple
88	39,81	296,15	0,13	24,17	280,58	0,09	0,08	Cumple
89	40	288,84	0,14	35,88	268,26	0,13	0,13	Cumple
90	24,59	308,7	0,08	24,62	306,93	0,08	0,05	Cumple
91	39,25	296,48	0,13	33,1	281,11	0,12	0,13	Cumple
92	19,27	308,7	0,06	19,33	306,17	0,06	0,04	Cumple
93	94,8	295,46	0,32	73,05	279,45	0,26	0,29	Cumple
94	41,18	308,7	0,13	22,11	306,02	0,07	0,08	Cumple
95	64,32	296,04	0,22	62,49	280,39	0,22	0,21	Cumple
96	40,93	296,82	0,14	40,78	281,65	0,14	0,12	Cumple
97	101,5	293,19	0,35	80,27	275,72	0,29	0,31	Cumple
98	42,98	308,7	0,14	21,98	306,39	0,07	0,08	Cumple
99	69,3	307,7	0,23	68,06	298,07	0,23	0,21	Cumple
100	41,32	300,15	0,14	41,92	286,89	0,15	0,12	Cumple
101	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
102	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
103	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
104	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
105	5,86	308,7	0,02	7,86	308,69	0,03	0,02	Cumple
106	5,95	308,7	0,02	7,19	308,69	0,02	0,02	Cumple
107	4,94	308,7	0,02	5,25	308,7	0,02	0,02	Cumple
108	5,9	308,7	0,02	5,97	308,7	0,02	0,02	Cumple
109	28,98	308,7	0,09	22,63	308,62	0,07	0,07	Cumple
110	29,29	308,7	0,09	22,97	308,57	0,07	0,07	Cumple
111	19,1	308,7	0,06	19,7	308,69	0,06	0,06	Cumple
112	23,92	308,7	0,08	24,63	308,69	0,08	0,07	Cumple

Tabla AII 9. Caso El jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	Local			Global	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
1	338,32	308,7	1,1	194,64	308,52	0,63	0,73	No Cumple
2	394,95	308,7	1,28	198,69	307,53	0,65	0,81	No Cumple
3	380,58	308,7	1,23	175,3	308,12	0,57	0,74	No Cumple
4	270,79	308,7	0,88	234,41	308,4	0,76	1,03	No Cumple
5	184,4	308,7	0,6	191,12	308,64	0,62	0,51	Cumple
6	209,24	308,7	0,68	191,87	308,54	0,62	0,5	Cumple
7	199,62	308,7	0,65	200,53	308,65	0,65	0,42	Cumple
8	118,36	308,7	0,38	97,13	308,21	0,32	0,17	Cumple
9	174,64	308,7	0,57	183,17	308,64	0,59	0,47	Cumple
10	214,58	308,7	0,7	187,63	308,53	0,61	0,49	Cumple
11	198,76	308,7	0,64	200,46	308,66	0,65	0,42	Cumple
12	123,59	308,7	0,4	88,88	308,41	0,29	0,17	Cumple
13	352,46	308,7	1,14	200,49	308,5	0,65	0,73	No Cumple
14	403,11	308,7	1,31	204,18	307,56	0,66	0,84	No Cumple
15	387,76	308,7	1,26	178,48	308,13	0,58	0,76	No Cumple
16	277,57	308,7	0,9	240,32	308,41	0,78	1,15	No Cumple
17	234,38	308,7	0,76	202,05	307,53	0,66	0,43	Cumple
18	308,57	308,7	1	260,24	307,65	0,85	0,68	Cumple
19	342,04	308,7	1,11	289,75	307,68	0,94	0,73	No Cumple
20	361,32	308,7	1,17	255,89	307,76	0,83	0,7	No Cumple
21	77,09	308,7	0,25	68,01	308,19	0,22	0,07	Cumple
22	112,17	308,7	0,36	89,45	307,2	0,29	0,11	Cumple
23	123,69	308,7	0,4	97,61	308,34	0,32	0,12	Cumple
24	144,53	308,7	0,47	93,51	308,41	0,3	0,19	Cumple
25	88,13	308,7	0,29	76,7	308,27	0,25	0,08	Cumple
26	124,77	308,7	0,4	98,79	307,85	0,32	0,12	Cumple
27	138,08	308,7	0,45	111,19	308,27	0,36	0,13	Cumple
28	152,09	308,7	0,49	95,7	308,38	0,31	0,21	Cumple
29	244,67	308,7	0,79	209,89	307,32	0,68	0,47	Cumple
30	320,37	308,7	1,04	267,42	307,51	0,87	0,75	No Cumple
31	354,95	308,7	1,15	301,99	307,59	0,98	0,79	No Cumple
32	382,29	308,7	1,24	269,49	307,64	0,88	0,76	No Cumple
33	54,31	250,58	0,22	53,34	186,98	0,29	0,09	Cumple
34	74,74	255,96	0,29	62,02	199,79	0,31	0,13	Cumple
35	54,35	259,96	0,21	56,2	209,12	0,27	0,09	Cumple
36	68,68	282,86	0,24	70,09	257,39	0,27	0,1	Cumple
37	96,65	296,4	0,33	34,97	280,98	0,12	0,23	Cumple
38	114,45	306,04	0,37	77,14	295,68	0,26	0,3	Cumple
39	94,16	295,44	0,32	38,36	279,43	0,14	0,21	Cumple

40	112,43	308,49	0,36	77,03	299,18	0,26	0,28	Cumple
41	70,14	308,7	0,23	43,54	301,39	0,14	0,15	Cumple
42	46,52	308,7	0,15	41,63	302,73	0,14	0,13	Cumple
43	69,74	308,7	0,23	40,52	299,93	0,14	0,16	Cumple
44	53,08	308,7	0,17	41,24	303,78	0,14	0,13	Cumple
45	82,59	302,61	0,27	42,5	290,63	0,15	0,21	Cumple
46	81,17	303,56	0,27	47,79	292,05	0,16	0,21	Cumple
47	57,26	289,06	0,2	30,97	268,64	0,12	0,14	Cumple
48	78,36	304,39	0,26	56,51	293,28	0,19	0,2	Cumple
49	84,21	296,08	0,28	42,23	280,46	0,15	0,22	Cumple
50	85,58	298,39	0,29	47,54	284,14	0,17	0,23	Cumple
51	60,05	277,5	0,22	32,1	247,01	0,13	0,15	Cumple
52	82,47	297,51	0,28	57,36	282,75	0,2	0,21	Cumple
53	78,51	296,6	0,26	76,48	281,3	0,27	0,2	Cumple
54	42,21	307,97	0,14	42,23	298,46	0,14	0,11	Cumple
55	79,18	302,91	0,26	78,18	291,08	0,27	0,2	Cumple
56	40,69	301,45	0,13	40,77	288,89	0,14	0,1	Cumple
57	49,02	302,68	0,16	28,16	290,74	0,1	0,09	Cumple
58	40,32	308,7	0,13	40,11	300,41	0,13	0,09	Cumple
59	56,52	308,7	0,18	32,23	301,34	0,11	0,09	Cumple
60	47,96	301,77	0,16	30,32	289,36	0,1	0,08	Cumple
61	63,13	307,36	0,21	52,43	297,59	0,18	0,17	Cumple
62	44,71	295,31	0,15	25,22	279,22	0,09	0,09	Cumple
63	39,84	298,75	0,13	39,92	284,71	0,14	0,12	Cumple
64	36,16	304,29	0,12	36,22	293,13	0,12	0,1	Cumple
65	66,34	307,34	0,22	59,62	297,55	0,2	0,18	Cumple
66	41,41	290,82	0,14	20,89	271,7	0,08	0,09	Cumple
67	45,8	308,7	0,15	45,93	299,75	0,15	0,12	Cumple
68	45,03	308,7	0,15	45,36	299,58	0,15	0,1	Cumple
69	49,18	281,1	0,17	23,04	254,05	0,09	0,12	Cumple
70	115,05	278,85	0,41	114,88	249,69	0,46	0,41	Cumple
71	47,43	287,52	0,16	29,19	265,93	0,11	0,14	Cumple
72	108,82	283,06	0,38	109,52	257,78	0,42	0,39	Cumple
73	35,57	283,12	0,13	35,62	257,87	0,14	0,1	Cumple
74	46,7	294,09	0,16	46,34	277,2	0,17	0,14	Cumple
75	39,57	272,68	0,15	31,15	237,19	0,13	0,12	Cumple
76	41,13	299,6	0,14	41,39	286,04	0,14	0,12	Cumple
77	52,23	285,9	0,18	42,23	263	0,16	0,17	Cumple
78	66,28	293,69	0,23	56,12	276,55	0,2	0,21	Cumple
79	53,66	308,07	0,17	46,08	298,6	0,15	0,15	Cumple
80	88,55	286,6	0,31	80,79	264,28	0,31	0,33	Cumple
81	69,89	272,26	0,26	39,13	236,3	0,17	0,22	Cumple
82	71,48	291,69	0,25	58,53	273,18	0,21	0,25	Cumple
83	47,66	307,69	0,15	47,66	298,06	0,16	0,12	Cumple

84	92,63	294,58	0,31	92,64	278,01	0,33	0,33	Cumple
85	135,14	285,2	0,47	107,09	261,73	0,41	0,41	Cumple
86	46,82	300,86	0,16	24,55	287,99	0,09	0,09	Cumple
87	129,21	281,82	0,46	109,83	255,42	0,43	0,42	Cumple
88	40,96	296,05	0,14	26,97	280,41	0,1	0,08	Cumple
89	42,95	293,21	0,15	35,75	275,75	0,13	0,14	Cumple
90	27,1	308,7	0,09	27,17	306,5	0,09	0,05	Cumple
91	43,26	291,22	0,15	35,97	272,38	0,13	0,14	Cumple
92	21,91	308,7	0,07	21,97	305,79	0,07	0,04	Cumple
93	98,21	284,92	0,34	76,41	261,23	0,29	0,31	Cumple
94	41,29	308,7	0,13	24,22	305,46	0,08	0,08	Cumple
95	65,66	293,33	0,22	65,33	275,95	0,24	0,22	Cumple
96	42,19	295,33	0,14	41,21	279,25	0,15	0,12	Cumple
97	105,42	286,74	0,37	83,08	264,53	0,31	0,33	Cumple
98	42,5	308,7	0,14	20,37	305,79	0,07	0,08	Cumple
99	72,08	302,79	0,24	69,57	290,9	0,24	0,22	Cumple
100	41,26	298,08	0,14	41,86	283,65	0,15	0,12	Cumple
101	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
102	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
103	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
104	0,14	308,7	0	5,48	308,69	0,02	0	Cumple
105	5,65	308,7	0,02	7,7	308,69	0,02	0,02	Cumple
106	6,01	308,7	0,02	7,74	308,69	0,03	0,02	Cumple
107	5,6	308,7	0,02	5,66	308,7	0,02	0,02	Cumple
108	5,61	308,7	0,02	5,68	308,7	0,02	0,02	Cumple
109	28,34	308,7	0,09	22,69	308,62	0,07	0,06	Cumple
110	29,68	308,7	0,1	23,39	308,61	0,08	0,07	Cumple
111	22,64	308,7	0,07	23,28	308,69	0,08	0,07	Cumple
112	22,5	308,7	0,07	23,18	308,69	0,08	0,06	Cumple

Tabla AII 10. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local			Global	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
1	792,73	308,7	2,57	802,35	308,65	2,6	2,38	No Cumple
2	620,83	308,7	2,01	568,15	307,55	1,85	1,57	No Cumple
3	518,67	308,7	1,68	292,61	307,88	0,95	0,86	No Cumple
4	337,46	308,7	1,09	249,36	308,24	0,81	0,39	No Cumple
5	956,82	308,7	3,1	635,89	308,64	2,06	2,38	No Cumple
6	750,08	308,7	2,43	452,72	308,26	1,47	1,7	No Cumple
7	506,82	308,7	1,64	348,42	308,13	1,13	0,94	No Cumple
8	291,81	308,7	0,95	154,63	307,1	0,5	0,42	Cumple
9	938,04	308,7	3,04	651,36	308,64	2,11	2,32	No Cumple
10	739,4	308,7	2,4	456,52	308,12	1,48	1,66	No Cumple
11	509,93	308,7	1,65	310,85	308,05	1,01	0,93	No Cumple
12	298,99	308,7	0,97	158,19	307,07	0,52	0,42	Cumple
13	831,01	308,7	2,69	796,94	308,65	2,58	2,31	No Cumple
14	676,54	308,7	2,19	572,05	308,08	1,86	1,53	No Cumple
15	553,67	308,7	1,79	326,67	308,22	1,06	0,85	No Cumple
16	368,03	308,7	1,19	256,5	308,27	0,83	0,38	No Cumple
17	240,79	308,7	0,78	201,47	306,72	0,66	0,39	Cumple
18	308,4	308,7	1	245,51	302,15	0,81	0,88	Cumple
19	320,33	308,7	1,04	267,98	306,75	0,87	0,74	No Cumple
20	348,76	308,7	1,13	238,21	307,73	0,77	0,68	No Cumple
21	141,28	308,7	0,46	90	304,54	0,3	0,2	Cumple
22	142,61	290,94	0,49	100,33	271,9	0,37	0,38	Cumple
23	134,66	308,7	0,44	111,69	306,53	0,36	0,17	Cumple
24	163,13	308,7	0,53	100,14	308,26	0,32	0,25	Cumple
25	150,48	308,7	0,49	101,67	305,01	0,33	0,2	Cumple
26	163,19	299,74	0,54	106,71	286,25	0,37	0,38	Cumple
27	147,04	308,7	0,48	128,01	307,35	0,42	0,18	Cumple
28	171,47	308,7	0,56	111,35	308,34	0,36	0,25	Cumple
29	249,41	308,7	0,81	207,59	306,6	0,68	0,43	Cumple
30	319,24	308,7	1,03	255,39	302,53	0,84	0,96	No Cumple
31	336,1	308,7	1,09	285,09	306,74	0,93	0,81	No Cumple
32	363,11	308,7	1,18	253,93	307,62	0,83	0,73	No Cumple
33	293,98	280,69	1,05	295,95	253,27	1,17	0,51	No Cumple
34	71,82	273,98	0,26	71,82	239,88	0,3	0,12	Cumple
35	287,66	279,34	1,03	287,45	250,65	1,15	0,51	No Cumple
36	66,5	283,34	0,23	67,5	258,29	0,26	0,12	Cumple
37	118,54	281,2	0,42	73,12	254,24	0,29	0,32	Cumple
38	169,02	280,4	0,6	120,56	252,7	0,48	0,53	Cumple
39	108,75	293	0,37	86,54	275,39	0,31	0,29	Cumple

40	161,83	271,81	0,6	121,77	235,36	0,52	0,53	Cumple
41	119,38	290,05	0,41	85	270,37	0,31	0,32	Cumple
42	174,86	281,11	0,62	140,8	254,07	0,55	0,51	Cumple
43	123,39	293,76	0,42	82,22	276,67	0,3	0,32	Cumple
44	170,89	272,24	0,63	129,41	236,25	0,55	0,53	Cumple
45	235,9	308,7	0,76	235,97	306,86	0,77	0,39	Cumple
46	222,82	308,7	0,72	221,98	305,5	0,73	0,47	Cumple
47	310,14	308,7	1	137	301,68	0,45	0,53	No Cumple
48	222,07	308,7	0,72	145,62	303,94	0,48	0,4	Cumple
49	246,75	308,7	0,8	225,3	306,63	0,73	0,43	Cumple
50	229,32	308,7	0,74	229,99	305,55	0,75	0,5	Cumple
51	305,21	308,7	0,99	154,67	302,58	0,51	0,52	Cumple
52	212,15	308,7	0,69	163,22	305,01	0,54	0,41	Cumple
53	193,38	273,78	0,71	149,37	239,47	0,62	0,59	Cumple
54	200,47	270,35	0,74	169,54	232,26	0,73	0,61	Cumple
55	183,14	275,16	0,67	151,17	242,3	0,62	0,58	Cumple
56	187,87	259,07	0,73	162,82	207,06	0,79	0,63	Cumple
57	185,6	273,93	0,68	190,67	239,77	0,8	0,56	Cumple
58	213,49	278,27	0,77	220,12	248,55	0,89	0,64	Cumple
59	181,72	264,91	0,69	179,41	220,38	0,81	0,58	Cumple
60	212,37	265,03	0,8	209,74	220,63	0,95	0,68	Cumple
61	215,38	308,7	0,7	216,58	302,42	0,72	0,36	Cumple
62	273,92	303,15	0,9	272,45	291,44	0,93	0,58	Cumple
63	210,25	284,55	0,74	113,58	260,55	0,44	0,39	Cumple
64	255,81	287,06	0,89	166,96	265,1	0,63	0,57	Cumple
65	214,18	308,7	0,69	213,51	301,73	0,71	0,37	Cumple
66	264,26	303,18	0,87	265,11	291,48	0,91	0,57	Cumple
67	200,91	288,97	0,7	130,71	268,49	0,49	0,38	Cumple
68	257,6	292,62	0,88	186,38	274,76	0,68	0,57	Cumple
69	227,14	274,55	0,83	231,9	241,05	0,96	0,83	Cumple
70	202,84	266,13	0,76	205,71	223,07	0,92	0,87	Cumple
71	245,3	270,09	0,91	247,77	231,7	1,07	0,85	No Cumple
72	215,59	250,84	0,86	213,97	187,61	1,14	0,91	No Cumple
73	232,17	267,34	0,87	229,65	225,75	1,02	0,84	No Cumple
74	179,95	271,23	0,66	173,46	234,12	0,74	0,69	Cumple
75	236,54	244,83	0,97	216,75	171,51	1,26	0,91	No Cumple
76	189,55	259,87	0,73	170,95	208,92	0,82	0,73	Cumple
77	212,98	278,58	0,76	216,13	249,15	0,87	0,67	Cumple
78	155,35	282,59	0,55	154,91	256,88	0,6	0,49	Cumple
79	207,44	260,52	0,8	154,23	210,42	0,73	0,77	Cumple
80	119,05	284,29	0,42	103,68	260,06	0,4	0,48	Cumple
81	197,82	264,65	0,75	197,51	219,78	0,9	0,69	Cumple
82	147,33	281,45	0,52	148,89	254,71	0,58	0,52	Cumple
83	202,73	253,14	0,8	157,47	193,12	0,82	0,8	Cumple

84	122,93	285,85	0,43	121,94	262,92	0,46	0,5	Cumple
85	130,26	273,42	0,48	111,56	238,73	0,47	0,44	Cumple
86	50,11	306,49	0,16	32,22	296,35	0,11	0,08	Cumple
87	132,07	272,72	0,48	118,51	237,25	0,5	0,45	Cumple
88	45,81	308,7	0,15	30,09	300,7	0,1	0,08	Cumple
89	62,02	291,68	0,21	53,9	273,17	0,2	0,18	Cumple
90	30,96	308,7	0,1	26,24	304,59	0,09	0,04	Cumple
91	59,49	279,88	0,21	52,77	251,71	0,21	0,19	Cumple
92	25,82	308,7	0,08	22,1	306,46	0,07	0,04	Cumple
93	155,31	280,36	0,55	144,95	252,62	0,57	0,54	Cumple
94	45,72	308,7	0,15	27,55	306,15	0,09	0,09	Cumple
95	100,35	274,89	0,37	80,87	241,74	0,33	0,4	Cumple
96	46,9	308,7	0,15	46,78	301,18	0,16	0,13	Cumple
97	171,15	259,62	0,66	133,28	208,33	0,64	0,6	Cumple
98	51,82	308,7	0,17	26,7	306,15	0,09	0,09	Cumple
99	99,29	276,29	0,36	100,78	244,59	0,41	0,42	Cumple
100	49,5	305,8	0,16	50,02	295,34	0,17	0,13	Cumple
101	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
105	14,36	308,7	0,05	14,55	308,69	0,05	0,05	Cumple
106	13,79	308,7	0,04	14,1	308,69	0,05	0,05	Cumple
107	14,22	308,7	0,05	12,12	308,69	0,04	0,04	Cumple
108	13,8	308,7	0,04	12,61	308,69	0,04	0,04	Cumple
109	66,47	308,7	0,22	68,41	308,69	0,22	0,2	Cumple
110	68,16	308,7	0,22	66,3	308,69	0,21	0,19	Cumple
111	76,89	308,7	0,25	57,67	308,69	0,19	0,19	Cumple
112	74,78	308,7	0,24	59,52	308,69	0,19	0,18	Cumple

Tabla AII 11. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local			Global	¿Cumple?
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	
1	1051,13	308,7	3,41	592,78	308,66	1,92	2,1	No Cumple
2	859,25	308,7	2,78	405,68	308,08	1,32	1,45	No Cumple
3	748,75	308,7	2,43	446,42	308,26	1,45	1,07	No Cumple
4	457,38	308,7	1,48	325,98	308,61	1,06	0,6	No Cumple
5	599,2	308,7	1,94	477,25	308,55	1,55	1,86	No Cumple
6	448,03	308,7	1,45	330,64	307,61	1,07	1,42	No Cumple
7	275,83	308,7	0,89	175,23	307,57	0,57	0,78	Cumple
8	200,15	308,7	0,65	103,68	303,22	0,34	1,01	No Cumple
9	865,16	308,7	2,8	888,67	308,67	2,88	2,07	No Cumple
10	611,96	308,7	1,98	631,69	308,5	2,05	1,28	No Cumple
11	474,14	308,7	1,54	495,25	308,54	1,61	0,83	No Cumple
12	231,38	308,7	0,75	228,7	308,6	0,74	0,31	Cumple
13	709,71	308,7	2,3	496,3	308,46	1,61	2,18	No Cumple
14	526,11	308,7	1,7	322,3	306,64	1,05	1,64	No Cumple
15	314,88	308,7	1,02	165,19	307,11	0,54	0,85	No Cumple
16	242,91	308,7	0,79	119,02	304,26	0,39	1,29	No Cumple
17	301,42	308,7	0,98	255,42	307,57	0,83	0,52	Cumple
18	383,2	308,7	1,24	304,13	307,24	0,99	1,01	No Cumple
19	395,64	308,7	1,28	344,31	308,09	1,12	0,75	No Cumple
20	422,62	308,7	1,37	301,61	308,06	0,98	0,72	No Cumple
21	130,82	308,7	0,42	93,54	300,22	0,31	0,39	Cumple
22	174,77	291,04	0,6	120,01	272,08	0,44	0,63	Cumple
23	172,22	308,7	0,56	132,03	302,37	0,44	0,56	Cumple
24	197,55	308,7	0,64	115,98	305,54	0,38	0,55	Cumple
25	118,91	308,7	0,39	119,17	308,19	0,39	0,14	Cumple
26	127,38	308,7	0,41	125,48	307,55	0,41	0,29	Cumple
27	134,15	308,7	0,43	117,74	308,61	0,38	0,14	Cumple
28	165,73	308,7	0,54	114,4	308,51	0,37	0,21	Cumple
29	168,62	308,12	0,55	106,66	298,66	0,36	0,47	Cumple
30	191,81	295,78	0,65	139,17	279,97	0,5	0,72	Cumple
31	213,11	308,7	0,69	155,04	302,71	0,51	0,68	Cumple
32	235,44	308,7	0,76	144,92	305,55	0,47	0,65	Cumple
33	175,3	295,67	0,59	174,44	279,81	0,62	0,28	Cumple
34	178	295,37	0,6	172,05	279,31	0,62	0,28	Cumple
35	198,15	299,39	0,66	177,62	285,71	0,62	0,31	Cumple
36	198,16	300,36	0,66	199,59	287,22	0,69	0,3	Cumple
37	242,55	308,7	0,79	105,08	303,87	0,35	0,46	Cumple

38	180,35	308,7	0,58	110,39	301,75	0,37	0,3	Cumple
39	160,83	308,7	0,52	107,32	306,5	0,35	0,32	Cumple
40	211,27	308,7	0,68	212,63	305,24	0,7	0,57	Cumple
41	156,88	308,7	0,51	102,03	305,84	0,33	0,32	Cumple
42	177,3	308,7	0,57	177,94	306,18	0,58	0,46	Cumple
43	182,75	308,7	0,59	126,94	305,64	0,42	0,35	Cumple
44	120,54	308,7	0,39	99,02	301,89	0,33	0,2	Cumple
45	222,33	308,7	0,72	119,34	304,65	0,39	0,45	Cumple
46	158,32	308,7	0,51	107,78	302,76	0,36	0,28	Cumple
47	170,38	308,7	0,55	89,4	305,6	0,29	0,33	Cumple
48	191,84	308,7	0,62	192,03	305,73	0,63	0,54	Cumple
49	186,94	308,7	0,61	97,09	305,54	0,32	0,36	Cumple
50	175,82	308,7	0,57	176,19	307,1	0,57	0,44	Cumple
51	184,28	308,7	0,6	154,01	306,35	0,5	0,36	Cumple
52	118,32	308,7	0,38	118,29	303,75	0,39	0,2	Cumple
53	196,41	308,7	0,64	174,66	303,72	0,58	0,47	Cumple
54	101,87	283,01	0,36	96,69	257,67	0,38	0,23	Cumple
55	144,89	308,7	0,47	147,82	300,34	0,49	0,26	Cumple
56	253,41	308,7	0,82	256,28	306,23	0,84	0,59	Cumple
57	133,92	297,33	0,45	114,22	282,47	0,4	0,23	Cumple
58	240,32	308,7	0,78	242,54	305,89	0,79	0,57	Cumple
59	181,11	308,7	0,59	159,29	303,62	0,52	0,43	Cumple
60	98,51	282,23	0,35	81,48	256,2	0,32	0,23	Cumple
61	173,8	308,7	0,56	174,28	304,8	0,57	0,45	Cumple
62	101,22	280,14	0,36	101,22	252,2	0,4	0,23	Cumple
63	126,53	303,56	0,42	119,07	292,05	0,41	0,23	Cumple
64	224,89	308,7	0,73	225,21	304,79	0,74	0,55	Cumple
65	149,14	293,74	0,51	106,49	276,64	0,38	0,22	Cumple
66	241,62	308,7	0,78	222,8	305,48	0,73	0,53	Cumple
67	170,81	308,7	0,55	165,59	305,49	0,54	0,4	Cumple
68	92,64	280,36	0,33	90,46	252,64	0,36	0,21	Cumple
69	243,31	273,07	0,89	201,37	237,99	0,85	0,74	Cumple
70	109,04	274,77	0,4	113,91	241,49	0,47	0,43	Cumple
71	102,61	274,24	0,37	93,12	240,42	0,39	0,39	Cumple
72	147,77	280,37	0,53	148,64	252,66	0,59	0,68	Cumple
73	103,19	272,77	0,38	103,19	237,37	0,43	0,36	Cumple
74	141,5	276,28	0,51	141,68	244,57	0,58	0,52	Cumple
75	216,59	298,26	0,73	194,01	283,95	0,68	0,66	Cumple
76	98,91	279,73	0,35	101,97	251,41	0,41	0,33	Cumple
77	222,48	293,03	0,76	208,4	275,44	0,76	0,66	Cumple
78	115,28	272,03	0,42	114,04	235,82	0,48	0,41	Cumple
79	113,24	272,33	0,42	92,71	236,45	0,39	0,39	Cumple
80	146,42	279,47	0,52	135,12	250,91	0,54	0,66	Cumple
81	107,78	266,47	0,4	95,24	223,84	0,43	0,37	Cumple

82	142,15	278,93	0,51	139	249,85	0,56	0,53	Cumple
83	205,85	306,37	0,67	207	296,16	0,7	0,62	Cumple
84	122,91	279,69	0,44	122,03	251,32	0,49	0,36	Cumple
85	132,53	299,91	0,44	106,11	286,52	0,37	0,4	Cumple
86	48,15	308,7	0,16	26,12	304,22	0,09	0,05	Cumple
87	129,26	285,22	0,45	131,19	261,77	0,5	0,44	Cumple
88	44,02	304,17	0,14	38,1	292,95	0,13	0,11	Cumple
89	92,44	277,34	0,33	94,39	246,69	0,38	0,32	Cumple
90	32,96	308,7	0,11	24,12	306,06	0,08	0,06	Cumple
91	70,02	306,75	0,23	52,73	296,72	0,18	0,18	Cumple
92	39,7	308,7	0,13	39,7	305,28	0,13	0,09	Cumple
93	128,73	302,67	0,43	103,81	290,72	0,36	0,39	Cumple
94	44,48	308,7	0,14	25,06	305,72	0,08	0,06	Cumple
95	119,37	268,65	0,44	104,76	228,59	0,46	0,42	Cumple
96	49,26	302,55	0,16	36,58	290,54	0,13	0,11	Cumple
97	96,56	268,83	0,36	85,26	228,98	0,37	0,34	Cumple
98	39,05	308,7	0,13	27,66	306,37	0,09	0,06	Cumple
99	59,03	308,7	0,19	56,2	300,1	0,19	0,19	Cumple
100	41,36	308,7	0,13	41,59	303,34	0,14	0,09	Cumple
101	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
105	14,94	308,7	0,05	11,86	308,7	0,04	0,04	Cumple
106	12,15	308,7	0,04	8,16	308,69	0,03	0,04	Cumple
107	10,08	308,7	0,03	7,42	308,69	0,02	0,04	Cumple
108	17,33	308,7	0,06	17,56	308,7	0,06	0,05	Cumple
109	87,25	308,7	0,28	52,62	308,69	0,17	0,17	Cumple
110	58,78	308,7	0,19	38,94	308,66	0,13	0,18	Cumple
111	47,94	308,7	0,16	36,16	308,67	0,12	0,17	Cumple
112	82,08	308,7	0,27	84,08	308,69	0,27	0,2	Cumple

Tabla AII 12. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	Global $\eta$	
1	842,74	308,7	2,73	867,15	308,67	2,81	2,37	No Cumple
2	683,91	308,7	2,22	613,57	308,2	1,99	1,52	No Cumple
3	602,72	308,7	1,95	388,14	308,37	1,26	0,9	No Cumple
4	360,24	308,7	1,17	281,74	308,62	0,91	0,36	No Cumple
5	734,76	308,7	2,38	665,72	308,63	2,16	2,28	No Cumple
6	531,78	308,7	1,72	469,57	307,89	1,53	1,64	No Cumple
7	290,45	308,7	0,94	248,09	307,96	0,81	0,73	Cumple
8	190,76	308,7	0,62	148,1	306,22	0,48	0,43	Cumple
9	1010,91	308,7	3,27	670,88	308,67	2,17	2,42	No Cumple
10	801,18	308,7	2,6	463,47	308,34	1,5	1,7	No Cumple
11	604,68	308,7	1,96	380,24	308,24	1,23	1,05	No Cumple
12	320,63	308,7	1,04	209,26	308,5	0,68	0,41	No Cumple
13	801,33	308,7	2,6	590,28	308,59	1,91	2,27	No Cumple
14	604,89	308,7	1,96	404,67	307,7	1,32	1,71	No Cumple
15	440,98	308,7	1,43	225,45	307,85	0,73	0,84	No Cumple
16	329,49	308,7	1,07	290,05	307,96	0,94	0,85	No Cumple
17	273,9	308,7	0,89	233,81	308,49	0,76	0,23	Cumple
18	354,16	308,7	1,15	304,79	308,15	0,99	0,54	No Cumple
19	388,73	308,7	1,26	331,54	308,5	1,07	0,4	No Cumple
20	400,43	308,7	1,3	290,15	308,49	0,94	0,48	No Cumple
21	137,83	308,7	0,45	119,03	305,74	0,39	0,17	Cumple
22	185,09	300,96	0,61	152,77	288,13	0,53	0,32	Cumple
23	203,54	308,7	0,66	169,57	307,09	0,55	0,19	Cumple
24	231,64	308,7	0,75	151,63	308,51	0,49	0,26	Cumple
25	184,57	308,7	0,6	150,75	308,06	0,49	0,21	Cumple
26	229,64	308,7	0,74	180,45	306,71	0,59	0,44	Cumple
27	230,64	308,7	0,75	196,35	308,56	0,64	0,21	Cumple
28	251,44	308,7	0,81	172,2	308,52	0,56	0,29	Cumple
29	292,98	308,7	0,95	255,59	307,5	0,83	0,35	Cumple
30	385,39	308,7	1,25	323,33	305,16	1,06	0,63	No Cumple
31	425,65	308,7	1,38	364,33	307,92	1,18	0,55	No Cumple
32	445,13	308,7	1,44	319,8	308,39	1,04	0,59	No Cumple
33	223,67	299,46	0,75	210,94	285,82	0,74	0,36	Cumple
34	221,51	295,58	0,75	223,13	279,66	0,8	0,35	Cumple
35	221,13	294	0,75	220,59	277,07	0,8	0,35	Cumple
36	208,09	305,3	0,68	202,64	294,61	0,69	0,34	Cumple
37	209,94	308,7	0,68	159,77	307,08	0,52	0,39	Cumple
38	173,82	308,7	0,56	146,88	303,66	0,48	0,33	Cumple

39	205,55	308,7	0,67	91,26	303,34	0,3	0,38	Cumple
40	219,25	308,7	0,71	182,37	306,71	0,59	0,56	Cumple
41	140,57	308,7	0,46	140,57	307,56	0,46	0,3	Cumple
42	228,38	308,7	0,74	229,43	307,5	0,75	0,58	Cumple
43	239,04	308,7	0,77	99,96	300,48	0,33	0,46	Cumple
44	158,59	294,48	0,54	79,34	277,85	0,29	0,25	Cumple
45	176,83	308,7	0,57	177,5	307,26	0,58	0,36	Cumple
46	130,06	308,7	0,42	129,29	303,43	0,43	0,27	Cumple
47	204,32	308,7	0,66	78,94	302,79	0,26	0,37	Cumple
48	222,43	308,7	0,72	143,28	305,15	0,47	0,51	Cumple
49	183,21	308,7	0,59	127,33	307,53	0,41	0,37	Cumple
50	235,99	308,7	0,76	236,37	306,35	0,77	0,6	Cumple
51	243,02	308,7	0,79	116,58	302,85	0,38	0,46	Cumple
52	153,65	308,7	0,5	118,76	300,53	0,4	0,3	Cumple
53	230,55	308,7	0,75	231,65	306,25	0,76	0,57	Cumple
54	126,89	291,27	0,44	128,19	272,48	0,47	0,28	Cumple
55	155,25	297,85	0,52	131,3	283,29	0,46	0,31	Cumple
56	281,95	308,7	0,91	220,89	304,89	0,72	0,69	Cumple
57	154	308,05	0,5	154,27	298,57	0,52	0,24	Cumple
58	320,03	308,7	1,04	323,09	306,86	1,05	0,76	No Cumple
59	237,04	302,42	0,78	134	290,35	0,46	0,55	Cumple
60	128,78	255,39	0,5	69,34	198,44	0,35	0,33	Cumple
61	230,01	308,7	0,75	230,5	306,49	0,75	0,54	Cumple
62	130,22	284,44	0,46	130,22	260,34	0,5	0,27	Cumple
63	155,1	283,01	0,55	94,76	257,68	0,37	0,27	Cumple
64	278,04	308,7	0,9	195,37	302,78	0,65	0,64	Cumple
65	147,11	306,59	0,48	147,11	296,48	0,5	0,27	Cumple
66	297,37	308,7	0,96	298,19	306,1	0,97	0,7	Cumple
67	225,95	308,7	0,73	143,25	302,52	0,47	0,54	Cumple
68	121,28	269,9	0,45	87,63	231,29	0,38	0,28	Cumple
69	271,51	284,22	0,96	273,06	259,93	1,05	0,91	No Cumple
70	144,01	279,89	0,51	150,42	251,73	0,6	0,55	Cumple
71	142,48	274,47	0,52	118,26	240,88	0,49	0,53	Cumple
72	184	270,31	0,68	184,2	232,16	0,79	0,8	Cumple
73	139,58	281,95	0,5	139,58	255,67	0,55	0,44	Cumple
74	184,41	284,48	0,65	185,05	260,41	0,71	0,69	Cumple
75	301,23	278,27	1,08	256,81	248,54	1,03	1	No Cumple
76	122,2	273,47	0,45	95,72	238,82	0,4	0,41	Cumple
77	277,43	299,92	0,93	280,25	286,53	0,98	0,83	Cumple
78	133,16	282,41	0,47	132,27	256,55	0,52	0,44	Cumple
79	152,06	278,2	0,55	128,54	248,41	0,52	0,5	Cumple
80	188,44	269,47	0,7	177,25	230,36	0,77	0,78	Cumple
81	136,26	270,33	0,5	131,85	232,21	0,57	0,48	Cumple
82	201,97	277,1	0,73	198,51	246,22	0,81	0,76	Cumple

83	284,25	292,02	0,97	250,69	273,74	0,92	0,91	Cumple
84	148,53	278,2	0,53	148	248,41	0,6	0,49	Cumple
85	148,25	299,53	0,49	112,91	285,93	0,39	0,42	Cumple
86	50,82	307,88	0,17	32	298,32	0,11	0,1	Cumple
87	149,68	278,69	0,54	135,81	249,36	0,54	0,49	Cumple
88	45,99	308,7	0,15	35,59	300,41	0,12	0,11	Cumple
89	113,01	278,85	0,41	115,4	249,7	0,46	0,37	Cumple
90	45,31	308,7	0,15	45,36	305,65	0,15	0,09	Cumple
91	86,74	301,48	0,29	59,91	288,93	0,21	0,23	Cumple
92	37,23	308,7	0,12	36,77	305,45	0,12	0,08	Cumple
93	125,28	303,27	0,41	99,34	291,63	0,34	0,41	Cumple
94	47,97	308,7	0,16	31,15	305,51	0,1	0,09	Cumple
95	100,36	267,84	0,37	98,69	226,84	0,44	0,42	Cumple
96	51,2	307,31	0,17	49,72	297,52	0,17	0,13	Cumple
97	133,2	260,18	0,51	122,55	209,64	0,58	0,52	Cumple
98	52,71	308,7	0,17	28,89	304,72	0,09	0,09	Cumple
99	101,36	308,7	0,33	93,07	302,15	0,31	0,35	Cumple
100	51,87	307,73	0,17	52,19	298,11	0,18	0,13	Cumple
101	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
102	0,14	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
103	0,14	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
104	0,14	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
105	16,12	308,7	0,05	16,38	308,7	0,05	0,05	Cumple
106	13,22	308,7	0,04	9,12	308,69	0,03	0,04	Cumple
107	12,35	308,7	0,04	10,6	308,69	0,03	0,04	Cumple
108	14,51	308,7	0,05	13,85	308,7	0,04	0,04	Cumple
109	74,19	308,7	0,24	76,47	308,69	0,25	0,21	Cumple
110	64,16	308,7	0,21	43,59	308,68	0,14	0,18	Cumple
111	58,16	308,7	0,19	52,55	308,69	0,17	0,18	Cumple
112	81,6	308,7	0,26	63,93	308,69	0,21	0,19	Cumple

Tabla AII 13. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	Local			Global	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	
1	738,79	308,7	2,39	737,67	308,64	2,39	2,27	No Cumple
2	600,35	308,7	1,94	518	307,96	1,68	1,5	No Cumple
3	496,72	308,7	1,61	284,46	308,11	0,92	0,81	No Cumple
4	340,92	308,7	1,1	288,91	308,35	0,94	0,4	No Cumple
5	887,47	308,7	2,87	899,59	308,66	2,91	2,43	No Cumple
6	636,56	308,7	2,06	652,23	308,19	2,12	1,57	No Cumple
7	382,25	308,7	1,24	394,67	308,3	1,28	0,79	No Cumple
8	240,61	308,7	0,78	240,96	307,91	0,78	0,36	Cumple
9	888,65	308,7	2,88	558,89	308,62	1,81	2,34	No Cumple
10	689,09	308,7	2,23	393,64	308,17	1,28	1,67	No Cumple
11	458,57	308,7	1,49	299,82	308,12	0,97	0,89	No Cumple
12	303,84	308,7	0,98	200,66	308,04	0,65	0,45	Cumple
13	1054,79	308,7	3,42	451,09	308,55	1,46	2,38	No Cumple
14	843,71	308,7	2,73	293,93	308,12	0,95	1,67	No Cumple
15	636,23	308,7	2,06	368,66	308,09	1,2	0,98	No Cumple
16	434	308,7	1,41	320,68	308,46	1,04	0,4	No Cumple
17	287,54	308,7	0,93	251,75	308,16	0,82	0,21	Cumple
18	375,21	308,7	1,22	324,12	306,82	1,06	0,43	No Cumple
19	406,49	308,7	1,32	347,08	308,21	1,13	0,36	No Cumple
20	416,46	308,7	1,35	303,69	308,57	0,98	0,42	No Cumple
21	179,48	308,7	0,58	152,4	307,43	0,5	0,16	Cumple
22	228,62	308,7	0,74	193,71	302,56	0,64	0,35	Cumple
23	249,25	308,7	0,81	207,58	307,91	0,67	0,22	Cumple
24	281,19	308,7	0,91	182,95	308,55	0,59	0,28	Cumple
25	195,47	308,7	0,63	159,67	307,41	0,52	0,22	Cumple
26	246,38	308,7	0,8	198,16	303,78	0,65	0,34	Cumple
27	259,95	308,7	0,84	213,7	307,85	0,69	0,22	Cumple
28	276,46	308,7	0,9	188,55	308,51	0,61	0,32	Cumple
29	320,88	308,7	1,04	281,01	308,3	0,91	0,24	No Cumple
30	418,92	308,7	1,36	355,12	307,25	1,16	0,53	No Cumple
31	460,12	308,7	1,49	393,93	308,48	1,28	0,36	No Cumple
32	476,53	308,7	1,54	344,3	308,56	1,12	0,48	No Cumple
33	69,7	270,94	0,26	64,3	233,52	0,28	0,13	Cumple
34	290,88	272,28	1,07	286,4	236,34	1,21	0,53	No Cumple
35	74,34	278,99	0,27	74,34	249,96	0,3	0,13	Cumple
36	289,86	289,31	1	289,54	269,08	1,08	0,48	No Cumple
37	239,92	308,7	0,78	205,15	306,38	0,67	0,41	Cumple
38	227,44	308,7	0,74	228,87	305,6	0,75	0,53	Cumple
39	314,25	308,7	1,02	132,12	299,61	0,44	0,53	No Cumple

40	217,79	308,7	0,71	170,21	304,27	0,56	0,43	Cumple
41	242,85	308,7	0,79	242,77	306,9	0,79	0,38	Cumple
42	222,6	308,7	0,72	222,05	305,02	0,73	0,45	Cumple
43	290,9	308,7	0,94	132,15	299,58	0,44	0,49	Cumple
44	205,34	308,7	0,67	143,12	303,37	0,47	0,37	Cumple
45	105,76	289,27	0,37	76,28	269,02	0,28	0,29	Cumple
46	125,2	270	0,46	95,66	231,52	0,41	0,44	Cumple
47	97,09	292,24	0,33	80,73	274,12	0,29	0,28	Cumple
48	126,02	281,92	0,45	122,49	255,61	0,48	0,48	Cumple
49	139,85	293,09	0,48	81,35	275,55	0,3	0,36	Cumple
50	190,33	258,94	0,74	132,3	206,77	0,64	0,59	Cumple
51	115,06	293,48	0,39	77,64	276,2	0,28	0,31	Cumple
52	160,5	283,4	0,57	133,12	258,4	0,52	0,5	Cumple
53	229,9	308,7	0,74	229,69	301,94	0,76	0,39	Cumple
54	268,1	304,21	0,88	268,72	293,02	0,92	0,59	Cumple
55	189,91	299,47	0,63	158,51	285,84	0,55	0,41	Cumple
56	244,52	288,83	0,85	175,84	268,24	0,66	0,57	Cumple
57	202,01	308,7	0,65	203,17	301,41	0,67	0,34	Cumple
58	263,19	296,25	0,89	261,56	280,73	0,93	0,59	Cumple
59	220,17	285,44	0,77	108,71	262,18	0,41	0,38	Cumple
60	261,42	282,15	0,93	155,53	256,05	0,61	0,61	Cumple
61	177,89	257,05	0,69	136,04	202,36	0,67	0,59	Cumple
62	176,42	250,59	0,7	138,58	187	0,74	0,59	Cumple
63	165,62	273,71	0,61	127,64	239,33	0,53	0,5	Cumple
64	166,43	270,26	0,62	140,97	232,06	0,61	0,51	Cumple
65	159,55	261,9	0,61	157,12	213,58	0,74	0,56	Cumple
66	172,34	257,81	0,67	170,22	204,13	0,83	0,57	Cumple
67	184,91	279,58	0,66	189,15	251,11	0,75	0,54	Cumple
68	200,94	278,23	0,72	205,55	248,46	0,83	0,58	Cumple
69	187,48	262,99	0,71	187,3	216,06	0,87	0,68	Cumple
70	162,77	288,49	0,56	169,75	267,66	0,63	0,59	Cumple
71	201,36	253,74	0,79	155,64	194,54	0,8	0,81	Cumple
72	141,4	284,9	0,5	140,84	261,19	0,54	0,55	Cumple
73	210,94	278,51	0,76	213,88	249,01	0,86	0,68	Cumple
74	132,66	284,33	0,47	132,02	260,14	0,51	0,45	Cumple
75	205,76	261,24	0,79	157,3	212,08	0,74	0,79	Cumple
76	123,17	275,62	0,45	100,66	243,24	0,41	0,42	Cumple
77	220,33	269,45	0,82	222,47	230,33	0,97	0,79	Cumple
78	196,37	244,83	0,8	194,91	171,84	1,13	0,85	No Cumple
79	222,88	272,47	0,82	226,66	236,75	0,96	0,8	Cumple
80	214,24	268,24	0,8	217,51	227,7	0,96	0,87	Cumple
81	244,55	244,83	1	213,39	139,36	1,53	0,92	No Cumple
82	198,96	245,56	0,81	169,21	174,88	0,97	0,85	Cumple
83	203,08	271,07	0,75	206,42	233,78	0,88	0,74	Cumple

84	169,87	272,12	0,62	171,42	236,01	0,73	0,74	Cumple
85	192,24	262,88	0,73	140,24	215,79	0,65	0,66	Cumple
86	52,13	300,63	0,17	40,8	287,63	0,14	0,13	Cumple
87	158,97	283,31	0,56	131,62	258,24	0,51	0,53	Cumple
88	47,84	301,86	0,16	42,32	289,5	0,15	0,14	Cumple
89	133,43	285,28	0,47	122,54	261,89	0,47	0,45	Cumple
90	55,19	308,7	0,18	55,37	305,69	0,18	0,11	Cumple
91	105,06	268,83	0,39	98,13	228,98	0,43	0,37	Cumple
92	48	308,7	0,16	47,95	305,03	0,16	0,11	Cumple
93	127,1	269,66	0,47	112,9	230,79	0,49	0,43	Cumple
94	47,41	308,7	0,15	35,22	304,88	0,12	0,09	Cumple
95	107,01	271,51	0,39	100,62	234,71	0,43	0,37	Cumple
96	50,57	302	0,17	50,53	289,71	0,17	0,13	Cumple
97	141,69	276,55	0,51	112,67	245,13	0,46	0,45	Cumple
98	52,44	308,7	0,17	29,01	304,34	0,1	0,09	Cumple
99	114,85	290,33	0,4	109,36	270,86	0,4	0,37	Cumple
100	48,94	306,43	0,16	49,18	296,26	0,17	0,13	Cumple
101	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	5,49	308,69	0,02	0	Cumple
105	13,75	308,7	0,04	13,29	308,69	0,04	0,04	Cumple
106	15,82	308,7	0,05	9,2	308,69	0,03	0,04	Cumple
107	16,12	308,7	0,05	16,33	308,69	0,05	0,05	Cumple
108	13,17	308,7	0,04	10,72	308,69	0,03	0,04	Cumple
109	58,82	308,7	0,19	61,16	308,69	0,2	0,19	Cumple
110	86,81	308,7	0,28	39,66	308,69	0,13	0,19	Cumple
111	77,25	308,7	0,25	79,11	308,69	0,26	0,21	Cumple
112	70,86	308,7	0,23	49,88	308,69	0,16	0,18	Cumple

Tabla AII 14. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	Local			Global	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
1	474,1	308,7	1,54	309,62	308,62	1	1,17	No Cumple
2	427,61	308,7	1,39	237,99	308,37	0,77	0,79	No Cumple
3	421,43	308,7	1,37	257,24	308,56	0,83	0,61	No Cumple
4	293,43	308,7	0,95	247,08	308,58	0,8	0,24	Cumple
5	470,47	308,7	1,52	335,04	308,64	1,09	1,11	No Cumple
6	474,54	308,7	1,54	227,26	308,47	0,74	0,83	No Cumple
7	466,54	308,7	1,51	253,36	308,51	0,82	0,57	No Cumple
8	333,46	308,7	1,08	291,34	308,59	0,94	0,25	No Cumple
9	498,95	308,7	1,62	355,73	308,64	1,15	1,06	No Cumple
10	466,45	308,7	1,51	238,35	308,43	0,77	0,79	No Cumple
11	461,14	308,7	1,49	244,24	308,54	0,79	0,57	No Cumple
12	331,67	308,7	1,07	280,79	308,6	0,91	0,25	No Cumple
13	539,96	308,7	1,75	341,48	308,65	1,11	1,07	No Cumple
14	459,65	308,7	1,49	261,13	308,46	0,85	0,76	No Cumple
15	440,37	308,7	1,43	274,01	308,56	0,89	0,61	No Cumple
16	301,26	308,7	0,98	250,13	308,58	0,81	0,24	Cumple
17	241,78	308,7	0,78	201,58	308,44	0,65	0,14	Cumple
18	309,92	308,7	1	257,61	307,76	0,84	0,23	No Cumple
19	333,19	308,7	1,08	280,8	308,57	0,91	0,19	No Cumple
20	361,48	308,7	1,17	249,39	308,64	0,81	0,27	No Cumple
21	290,5	308,7	0,94	243,17	308,56	0,79	0,14	Cumple
22	375,41	308,7	1,22	314,86	308,23	1,02	0,22	No Cumple
23	405,62	308,7	1,31	340,88	308,63	1,1	0,21	No Cumple
24	424,75	308,7	1,38	307,81	308,66	1	0,29	No Cumple
25	289,83	308,7	0,94	242,73	308,51	0,79	0,15	Cumple
26	371,19	308,7	1,2	311,47	308,25	1,01	0,22	No Cumple
27	399,32	308,7	1,29	335,22	308,61	1,09	0,21	No Cumple
28	438,12	308,7	1,42	302,42	308,63	0,98	0,32	No Cumple
29	243,94	308,7	0,79	205,52	308,42	0,67	0,15	Cumple
30	312,9	308,7	1,01	259,07	307,82	0,84	0,24	No Cumple
31	332,94	308,7	1,08	280,77	308,58	0,91	0,19	No Cumple
32	368,48	308,7	1,19	254,41	308,61	0,82	0,33	No Cumple
33	151,75	295,91	0,51	153,32	280,18	0,55	0,25	Cumple
34	63,27	279,97	0,23	63,83	251,88	0,25	0,1	Cumple
35	146,94	300,97	0,49	146,47	288,15	0,51	0,23	Cumple
36	87,54	280,77	0,31	66,99	253,42	0,26	0,13	Cumple
37	96,68	308,7	0,31	49,21	300,12	0,16	0,2	Cumple

38	130,73	298,49	0,44	84,33	284,3	0,3	0,36	Cumple
39	96,43	308,7	0,31	43,12	300,36	0,14	0,22	Cumple
40	132,76	295,78	0,45	86,95	279,98	0,31	0,36	Cumple
41	99,96	308,7	0,32	47,86	302,69	0,16	0,23	Cumple
42	153,47	285,18	0,54	91,21	261,71	0,35	0,43	Cumple
43	91,38	308,7	0,3	50,27	302,29	0,17	0,22	Cumple
44	143,29	291,18	0,49	98,87	272,32	0,36	0,43	Cumple
45	137,54	308,7	0,45	86,49	302,81	0,29	0,27	Cumple
46	118,2	308,7	0,38	117,73	304,45	0,39	0,26	Cumple
47	164,15	308,7	0,53	54,11	301,57	0,18	0,3	Cumple
48	113,11	308,7	0,37	87,28	305,68	0,29	0,26	Cumple
49	159,34	308,7	0,52	78,19	301,6	0,26	0,3	Cumple
50	122,04	308,7	0,4	122,73	304,48	0,4	0,27	Cumple
51	160,24	306,91	0,52	68,61	296,95	0,23	0,3	Cumple
52	114,35	308,7	0,37	104,07	306,09	0,34	0,28	Cumple
53	88,89	278,43	0,32	88,86	248,86	0,36	0,33	Cumple
54	87,73	270,75	0,32	78,76	233,11	0,34	0,27	Cumple
55	87,68	292,43	0,3	88,95	274,44	0,32	0,32	Cumple
56	88,21	267,93	0,33	90,43	227,04	0,4	0,27	Cumple
57	102,15	292,53	0,35	102,95	274,61	0,37	0,35	Cumple
58	101,58	280,39	0,36	104,52	252,69	0,41	0,31	Cumple
59	108,97	283,78	0,38	108,79	259,12	0,42	0,36	Cumple
60	97,47	284,27	0,34	96,42	260,02	0,37	0,31	Cumple
61	104,94	308,7	0,34	105,52	304,18	0,35	0,21	Cumple
62	132,64	304,96	0,43	131,96	294,12	0,45	0,29	Cumple
63	103,68	291,02	0,36	53,85	272,05	0,2	0,24	Cumple
64	124,7	289,42	0,43	88,77	269,27	0,33	0,27	Cumple
65	105,56	308,7	0,34	105,21	302,95	0,35	0,21	Cumple
66	128,48	304,74	0,42	128,92	293,79	0,44	0,28	Cumple
67	97,26	294,25	0,33	69,56	277,48	0,25	0,23	Cumple
68	120,93	291,86	0,41	103,2	273,47	0,38	0,27	Cumple
69	119,04	276,21	0,43	109,99	244,43	0,45	0,42	Cumple
70	131,05	268,45	0,49	124,95	228,17	0,55	0,58	Cumple
71	123,45	277,14	0,45	125,51	246,29	0,51	0,43	Cumple
72	132,62	267,73	0,5	132,49	226,59	0,58	0,58	Cumple
73	117,94	269,82	0,44	119,76	231,12	0,52	0,43	Cumple
74	149,32	275,62	0,54	121,37	243,24	0,5	0,59	Cumple
75	124,8	250,45	0,5	112,33	186,68	0,6	0,47	Cumple
76	135,82	264,99	0,51	134,16	220,55	0,61	0,62	Cumple
77	95,76	280,81	0,34	97,41	253,49	0,38	0,31	Cumple
78	97,53	285,51	0,34	97,33	262,29	0,37	0,32	Cumple
79	100,81	266,3	0,38	70,43	223,45	0,32	0,37	Cumple
80	92,23	295,8	0,31	92,91	280	0,33	0,32	Cumple
81	104,97	280,03	0,37	82,08	251,99	0,33	0,3	Cumple

82	102,95	296,62	0,35	103,36	281,33	0,37	0,32	Cumple
83	96,28	267,28	0,36	76,75	225,61	0,34	0,37	Cumple
84	99,11	292,19	0,34	98,61	274,03	0,36	0,35	Cumple
85	131,7	285,12	0,46	114,3	261,59	0,44	0,42	Cumple
86	50,08	308,7	0,16	26,74	301,58	0,09	0,08	Cumple
87	130,96	279,86	0,47	114,97	251,67	0,46	0,43	Cumple
88	41,69	302,96	0,14	26,66	291,15	0,09	0,08	Cumple
89	165,68	283,02	0,59	129,15	257,7	0,5	0,51	Cumple
90	56,01	298,54	0,19	25,33	284,39	0,09	0,1	Cumple
91	148,99	263,86	0,56	139,38	218,01	0,64	0,55	Cumple
92	43,66	295,76	0,15	27,48	279,95	0,1	0,09	Cumple
93	106,55	289,22	0,37	98,39	268,94	0,37	0,36	Cumple
94	57,98	305,56	0,19	58,71	294,99	0,2	0,16	Cumple
95	103,65	291,46	0,36	75,43	272,8	0,28	0,31	Cumple
96	58,82	308,7	0,19	50,1	300,49	0,17	0,13	Cumple
97	123,92	294,5	0,42	88,58	277,88	0,32	0,37	Cumple
98	67,23	307,01	0,22	67,06	297,08	0,23	0,16	Cumple
99	108,99	296,07	0,37	80,17	280,45	0,29	0,3	Cumple
100	68,17	308,7	0,22	49,18	299,61	0,16	0,13	Cumple
101	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
105	8,43	308,7	0,03	7,64	308,7	0,02	0,03	Cumple
106	8,28	308,7	0,03	7,93	308,7	0,03	0,03	Cumple
107	7,4	308,7	0,02	8,45	308,7	0,03	0,03	Cumple
108	7,56	308,7	0,02	7,99	308,7	0,03	0,03	Cumple
109	38,72	308,7	0,13	33,7	308,69	0,11	0,11	Cumple
110	44,04	308,7	0,14	34,55	308,69	0,11	0,1	Cumple
111	42	308,7	0,14	32,74	308,69	0,11	0,1	Cumple
112	43,48	308,7	0,14	34,61	308,69	0,11	0,11	Cumple

Tabla AII 15. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado ¿Cumple?
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	Local			Global	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	
1	610,55	308,7	1,98	453,33	308,67	1,47	1,1	No Cumple
2	523,06	308,7	1,69	326,94	308,59	1,06	0,79	No Cumple
3	515,57	308,7	1,67	364,35	308,64	1,18	0,71	No Cumple
4	358,51	308,7	1,16	309,05	308,66	1	0,22	No Cumple
5	353,41	308,7	1,14	213,5	308,26	0,69	1,11	No Cumple
6	274	308,7	0,89	140,85	307,14	0,46	0,98	Cumple
7	219,73	308,7	0,71	81,12	306,38	0,26	0,67	Cumple
8	154,87	308,7	0,5	103,62	306,14	0,34	0,91	Cumple
9	599,24	308,7	1,94	451,66	308,66	1,46	1,1	No Cumple
10	568,54	308,7	1,84	303,52	308,56	0,98	0,71	No Cumple
11	568,22	308,7	1,84	347,41	308,63	1,13	0,58	No Cumple
12	406,25	308,7	1,32	367,04	308,67	1,19	0,22	No Cumple
13	427,13	308,7	1,38	218,49	307,96	0,71	1,27	No Cumple
14	328,75	308,7	1,06	131,34	305,84	0,43	1,06	No Cumple
15	240,52	308,7	0,78	81,35	306,26	0,27	0,69	Cumple
16	180,4	308,7	0,58	113,96	306,52	0,37	1,01	No Cumple
17	300,2	308,7	0,97	259,48	308,63	0,84	0,14	Cumple
18	379,29	308,7	1,23	312,53	308,59	1,01	0,25	No Cumple
19	401,98	308,7	1,3	345,43	308,68	1,12	0,18	No Cumple
20	420,18	308,7	1,36	300,26	308,67	0,97	0,28	No Cumple
21	122,05	308,7	0,4	92,98	303,52	0,31	0,34	Cumple
22	159,28	306,94	0,52	119,81	296,98	0,4	0,53	Cumple
23	178,21	308,7	0,58	134	304,65	0,44	0,56	Cumple
24	208,64	308,7	0,68	122,85	305,32	0,4	0,57	Cumple
25	367,5	308,7	1,19	317,35	308,66	1,03	0,15	No Cumple
26	470,49	308,7	1,52	392,56	308,64	1,27	0,24	No Cumple
27	505,1	308,7	1,64	439,04	308,69	1,42	0,21	No Cumple
28	521,58	308,7	1,69	382,17	308,68	1,24	0,29	No Cumple
29	137,68	308,7	0,45	106,63	303,39	0,35	0,4	Cumple
30	173,53	308,7	0,56	133,6	300,22	0,45	0,6	Cumple
31	196,88	308,7	0,64	151,22	304,7	0,5	0,65	Cumple
32	228,6	308,7	0,74	141,7	304,7	0,47	0,69	Cumple
33	103,21	289,21	0,36	104,85	268,91	0,39	0,17	Cumple
34	103,3	286,4	0,36	104,66	263,92	0,4	0,17	Cumple
35	115,61	289,33	0,4	105,93	269,11	0,39	0,19	Cumple
36	119,17	298,46	0,4	120,48	284,25	0,42	0,18	Cumple
37	154,96	305,82	0,51	60,72	295,37	0,21	0,3	Cumple
38	128,42	307,1	0,42	65,43	297,22	0,22	0,27	Cumple
39	106,64	308,7	0,35	58,68	303,73	0,19	0,22	Cumple

40	120,8	308,7	0,39	121,39	305,35	0,4	0,34	Cumple
41	97,45	308,7	0,32	63,86	304,34	0,21	0,22	Cumple
42	119,84	308,7	0,39	98,61	302,86	0,33	0,38	Cumple
43	117,82	300,97	0,39	50,06	288,16	0,17	0,25	Cumple
44	126,87	308,7	0,41	66,99	300,32	0,22	0,3	Cumple
45	133,18	306,18	0,43	45,76	295,9	0,15	0,28	Cumple
46	115,4	308,7	0,37	71,06	299,96	0,24	0,26	Cumple
47	114,25	308,7	0,37	55,15	301,81	0,18	0,23	Cumple
48	106,48	308,7	0,34	101,65	304,66	0,33	0,33	Cumple
49	119,17	308,7	0,39	58,05	304,27	0,19	0,24	Cumple
50	113,12	308,7	0,37	100,58	304,09	0,33	0,38	Cumple
51	125,89	308,06	0,41	67,84	298,58	0,23	0,25	Cumple
52	143,79	308,7	0,47	68,85	303,27	0,23	0,31	Cumple
53	105,09	307,56	0,34	96,34	297,87	0,32	0,31	Cumple
54	56,18	276,95	0,2	51,95	245,92	0,21	0,13	Cumple
55	84,76	308,7	0,27	86,13	300,1	0,29	0,17	Cumple
56	132,63	308,7	0,43	133,92	305,94	0,44	0,31	Cumple
57	80,48	308,7	0,26	80,96	299,62	0,27	0,18	Cumple
58	124,88	308,7	0,4	125,81	304,65	0,41	0,31	Cumple
59	100,76	287,97	0,35	93,2	266,72	0,35	0,35	Cumple
60	56,58	270,67	0,21	37,51	232,94	0,16	0,14	Cumple
61	90,69	308,7	0,29	91,15	301,58	0,3	0,29	Cumple
62	55,06	277,49	0,2	55,04	246,99	0,22	0,13	Cumple
63	76,94	301,46	0,26	70,67	288,9	0,24	0,17	Cumple
64	110,76	308,7	0,36	110,88	302,47	0,37	0,28	Cumple
65	89,66	308,7	0,29	85,84	300,18	0,29	0,18	Cumple
66	123,83	308,7	0,4	113,45	304,97	0,37	0,28	Cumple
67	107,93	297,16	0,36	81,5	282,2	0,29	0,34	Cumple
68	51,38	277,42	0,19	45,64	246,85	0,18	0,12	Cumple
69	136,06	304,34	0,45	93,79	293,2	0,32	0,34	Cumple
70	97,38	292,71	0,33	86,72	274,9	0,32	0,32	Cumple
71	59,04	282,54	0,21	55,26	256,79	0,22	0,22	Cumple
72	114,17	294,19	0,39	114,8	277,37	0,41	0,47	Cumple
73	57,9	274,79	0,21	57,54	241,54	0,24	0,21	Cumple
74	135,53	280,61	0,48	131,74	253,11	0,52	0,52	Cumple
75	117,68	291,09	0,4	93,7	272,16	0,34	0,37	Cumple
76	107,58	281,11	0,38	90,94	254,08	0,36	0,37	Cumple
77	121,45	295,46	0,41	103,3	279,45	0,37	0,35	Cumple
78	100,8	283,03	0,36	88,4	257,71	0,34	0,32	Cumple
79	70,36	278,61	0,25	53,1	249,21	0,21	0,22	Cumple
80	111,18	294	0,38	111,42	277,06	0,4	0,46	Cumple
81	64,89	272,06	0,24	49,82	235,89	0,21	0,21	Cumple
82	141,79	286,01	0,5	142,04	263,22	0,54	0,52	Cumple
83	109,63	302,6	0,36	108,01	290,61	0,37	0,35	Cumple

84	116,7	284,56	0,41	83,29	260,56	0,32	0,36	Cumple
85	131,85	300,4	0,44	99,61	287,27	0,35	0,39	Cumple
86	55,7	308,7	0,18	55,72	307,08	0,18	0,11	Cumple
87	105	286,98	0,37	106,29	264,96	0,4	0,35	Cumple
88	47,13	294,85	0,16	34,34	278,47	0,12	0,11	Cumple
89	119,94	284,23	0,42	110,85	259,95	0,43	0,4	Cumple
90	51,89	290,92	0,18	37,89	271,87	0,14	0,14	Cumple
91	153,46	279,53	0,55	128,75	251,02	0,51	0,5	Cumple
92	44,43	308,7	0,14	36,99	305,81	0,12	0,09	Cumple
93	132,6	296,7	0,45	104,46	281,45	0,37	0,4	Cumple
94	47,48	308,7	0,15	47,61	306,52	0,16	0,11	Cumple
95	105,22	292,81	0,36	99,85	275,07	0,36	0,34	Cumple
96	50,07	302,99	0,17	36,23	291,21	0,12	0,11	Cumple
97	115,29	286,21	0,4	115,27	263,58	0,44	0,39	Cumple
98	47,35	289,06	0,16	46,92	268,65	0,17	0,14	Cumple
99	164,32	282,76	0,58	110,91	257,2	0,43	0,49	Cumple
100	58,09	308,7	0,19	40,43	305,28	0,13	0,1	Cumple
101	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
105	10,14	308,7	0,03	10,25	308,7	0,03	0,03	Cumple
106	7,94	308,7	0,03	5,69	308,69	0,02	0,03	Cumple
107	6,75	308,7	0,02	5,61	308,69	0,02	0,03	Cumple
108	10,06	308,7	0,03	10,19	308,7	0,03	0,03	Cumple
109	49,9	308,7	0,16	48,51	308,69	0,16	0,11	Cumple
110	36,55	308,7	0,12	16,88	308,53	0,05	0,11	Cumple
111	28,69	308,7	0,09	15,57	308,55	0,05	0,11	Cumple
112	53,89	308,7	0,17	45,64	308,69	0,15	0,12	Cumple

Tabla AII 16. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	Global $\eta$	
1	498,52	308,7	1,61	319,21	308,64	1,03	1,08	No Cumple
2	443,6	308,7	1,44	214,58	308,34	0,7	0,7	No Cumple
3	449,18	308,7	1,46	238,86	308,57	0,77	0,66	No Cumple
4	299,43	308,7	0,97	250,79	308,62	0,81	0,24	Cumple
5	475,56	308,7	1,54	341,25	308,65	1,11	1,1	No Cumple
6	487,07	308,7	1,58	260,41	308,49	0,84	0,92	No Cumple
7	473,67	308,7	1,53	266	308,53	0,86	0,56	No Cumple
8	349,43	308,7	1,13	307,1	308,57	1	0,25	No Cumple
9	478,68	308,7	1,55	358,22	308,65	1,16	1,15	No Cumple
10	443,24	308,7	1,44	232,5	308,46	0,75	0,84	No Cumple
11	439,67	308,7	1,42	247,94	308,55	0,8	0,64	No Cumple
12	308,46	308,7	1	260,84	308,64	0,85	0,24	Cumple
13	476,44	308,7	1,54	353,51	308,67	1,15	1,05	No Cumple
14	444,96	308,7	1,44	283,88	308,55	0,92	0,87	No Cumple
15	432,76	308,7	1,4	285,46	308,58	0,93	0,55	No Cumple
16	307,77	308,7	1	267,18	308,54	0,87	0,23	Cumple
17	243,22	308,7	0,79	204,45	308,55	0,66	0,15	Cumple
18	313,74	308,7	1,02	252,96	308,51	0,82	0,25	No Cumple
19	329,43	308,7	1,07	278,45	308,63	0,9	0,2	No Cumple
20	345,43	308,7	1,12	245,91	308,64	0,8	0,28	No Cumple
21	311,89	308,7	1,01	266,63	308,51	0,86	0,15	No Cumple
22	404,51	308,7	1,31	340,96	308,05	1,11	0,24	No Cumple
23	441,15	308,7	1,43	371,45	308,63	1,2	0,22	No Cumple
24	455,89	308,7	1,48	331,31	308,67	1,07	0,29	No Cumple
25	264,85	308,7	0,86	218,7	308,58	0,71	0,15	Cumple
26	337,65	308,7	1,09	275,75	308,46	0,89	0,26	No Cumple
27	364,16	308,7	1,18	302,41	308,61	0,98	0,2	No Cumple
28	411,69	308,7	1,33	276,26	308,59	0,9	0,34	No Cumple
29	263,68	308,7	0,85	226,7	308,45	0,73	0,14	Cumple
30	336,96	308,7	1,09	280,76	307,88	0,91	0,23	No Cumple
31	360,64	308,7	1,17	306,7	308,59	0,99	0,2	No Cumple
32	376,46	308,7	1,22	266,4	308,63	0,86	0,33	No Cumple
33	118,32	287,42	0,41	114,6	265,74	0,43	0,2	Cumple
34	121,27	298,1	0,41	122,83	283,69	0,43	0,19	Cumple
35	116,33	292,64	0,4	115,63	274,8	0,42	0,18	Cumple
36	112,3	296,38	0,38	112,26	280,95	0,4	0,18	Cumple
37	140,31	308,7	0,45	59,26	301,15	0,2	0,26	Cumple
38	134,57	308,7	0,44	85,03	301,73	0,28	0,32	Cumple
39	124,08	308,7	0,4	55,21	303,49	0,18	0,25	Cumple

40	124,77	308,7	0,4	117,73	305,43	0,39	0,35	Cumple
41	108,07	308,7	0,35	72,85	304,95	0,24	0,24	Cumple
42	145,34	308,7	0,47	112,15	303,76	0,37	0,41	Cumple
43	133,9	298,84	0,45	46,7	284,86	0,16	0,27	Cumple
44	147,51	303,07	0,49	91,77	291,32	0,32	0,37	Cumple
45	124	308,7	0,4	64,5	302,3	0,21	0,26	Cumple
46	96,15	308,7	0,31	71,8	301,64	0,24	0,22	Cumple
47	114,4	308,7	0,37	49,69	301,74	0,16	0,23	Cumple
48	102,84	308,7	0,33	87,51	306,41	0,29	0,27	Cumple
49	128,51	308,7	0,42	59,72	305,15	0,2	0,26	Cumple
50	121,94	308,7	0,4	122,37	306,81	0,4	0,32	Cumple
51	131,32	294,04	0,45	52,57	277,13	0,19	0,28	Cumple
52	109,64	308,7	0,36	82,32	299,51	0,27	0,26	Cumple
53	109,08	308,7	0,35	109,56	301,34	0,36	0,32	Cumple
54	63,4	294	0,22	63,77	277,06	0,23	0,14	Cumple
55	93,33	308,7	0,3	88,92	300,07	0,3	0,24	Cumple
56	126,44	308,7	0,41	117,41	305,35	0,38	0,32	Cumple
57	106,28	308,7	0,34	107,17	301,63	0,36	0,28	Cumple
58	158,31	308,7	0,51	159,7	307,12	0,52	0,37	Cumple
59	114,73	308,7	0,37	103,21	299,97	0,34	0,33	Cumple
60	67,14	258,39	0,26	42,72	205,49	0,21	0,17	Cumple
61	108,11	308,7	0,35	108,52	306,11	0,35	0,29	Cumple
62	64,17	297,74	0,22	64,17	283,12	0,23	0,14	Cumple
63	91,55	292,28	0,31	59,16	274,18	0,22	0,21	Cumple
64	129,53	308,7	0,42	99,33	304,66	0,33	0,3	Cumple
65	98,21	306,93	0,32	73,73	296,98	0,25	0,19	Cumple
66	140,21	308,7	0,45	140,73	305,22	0,46	0,34	Cumple
67	105,91	308,7	0,34	72,74	302,61	0,24	0,27	Cumple
68	63,86	274,63	0,23	50,04	241,22	0,21	0,16	Cumple
69	122,33	283,46	0,43	122,9	258,51	0,48	0,44	Cumple
70	116,9	275,53	0,42	117,52	243,05	0,48	0,45	Cumple
71	76,42	282,63	0,27	69,32	256,95	0,27	0,28	Cumple
72	120,87	285,63	0,42	117,34	262,52	0,45	0,53	Cumple
73	73,25	285,7	0,26	73,25	262,64	0,28	0,22	Cumple
74	151,59	279,89	0,54	121,7	251,71	0,48	0,57	Cumple
75	158,18	287,51	0,55	128,74	265,9	0,48	0,49	Cumple
76	135,84	268,62	0,51	135,71	228,54	0,59	0,53	Cumple
77	131,68	292,02	0,45	133,58	273,75	0,49	0,41	Cumple
78	110,07	280,9	0,39	110,19	253,66	0,43	0,39	Cumple
79	86,63	280,98	0,31	68,62	253,82	0,27	0,27	Cumple
80	110,44	295,28	0,37	100,17	279,16	0,36	0,45	Cumple
81	70,28	280,96	0,25	65,09	253,79	0,26	0,26	Cumple
82	126,56	303,3	0,42	116,38	291,66	0,4	0,41	Cumple
83	140,42	300,59	0,47	126,82	287,57	0,44	0,45	Cumple

84	103,3	287,46	0,36	103,19	265,81	0,39	0,32	Cumple
85	130,57	296,61	0,44	111,85	281,31	0,4	0,4	Cumple
86	50,22	308,7	0,16	28,27	299,59	0,09	0,08	Cumple
87	138,96	280,3	0,5	117,04	252,52	0,46	0,46	Cumple
88	41,67	307,67	0,14	29,74	298,02	0,1	0,08	Cumple
89	173,48	283,73	0,61	133,13	259,02	0,51	0,54	Cumple
90	56,7	308,7	0,18	33,81	300,34	0,11	0,08	Cumple
91	137,87	269,76	0,51	135,31	231	0,59	0,51	Cumple
92	44,41	294,19	0,15	32,4	277,38	0,12	0,1	Cumple
93	91,08	305,48	0,3	78,35	294,87	0,27	0,27	Cumple
94	55,84	299,5	0,19	56,72	285,88	0,2	0,16	Cumple
95	117,35	284,82	0,41	85,81	261,04	0,33	0,36	Cumple
96	59,18	308,7	0,19	52,64	300,92	0,17	0,13	Cumple
97	112,93	294,32	0,38	79,86	277,6	0,29	0,34	Cumple
98	68,24	308,7	0,22	68,09	300,67	0,23	0,16	Cumple
99	97,62	304,77	0,32	75,94	293,85	0,26	0,27	Cumple
100	66,45	303,23	0,22	49	291,56	0,17	0,13	Cumple
101	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
105	8,83	308,7	0,03	8,38	308,7	0,03	0,03	Cumple
106	8	308,7	0,03	8,27	308,7	0,03	0,03	Cumple
107	6,96	308,7	0,02	8,46	308,7	0,03	0,03	Cumple
108	8,45	308,7	0,03	8,57	308,7	0,03	0,03	Cumple
109	40	308,7	0,13	34,02	308,69	0,11	0,1	Cumple
110	40,98	308,7	0,13	35,73	308,69	0,12	0,1	Cumple
111	42,75	308,7	0,14	29,98	308,69	0,1	0,11	Cumple
112	40,31	308,7	0,13	37,02	308,69	0,12	0,11	Cumple

Tabla AII 17. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	Global $\eta$	
1	482,85	308,7	1,56	285,16	308,62	0,92	1,11	No Cumple
2	429,09	308,7	1,39	203,83	308,28	0,66	0,74	No Cumple
3	423,83	308,7	1,37	213,64	308,54	0,69	0,59	No Cumple
4	293,84	308,7	0,95	247,47	308,55	0,8	0,25	Cumple
5	492,12	308,7	1,59	466,48	308,66	1,51	1,25	No Cumple
6	485,3	308,7	1,57	328,2	308,47	1,06	0,77	No Cumple
7	483,45	308,7	1,57	298,57	308,54	0,97	0,58	No Cumple
8	348,1	308,7	1,13	309,96	308,62	1	0,25	No Cumple
9	440,89	308,7	1,43	332,82	308,65	1,08	1,19	No Cumple
10	426,17	308,7	1,38	228,04	308,46	0,74	0,83	No Cumple
11	420,79	308,7	1,36	231,47	308,51	0,75	0,55	No Cumple
12	294,62	308,7	0,95	249,55	308,55	0,81	0,28	Cumple
13	597,34	308,7	1,94	337,57	308,66	1,09	1,23	No Cumple
14	503,18	308,7	1,63	266,5	308,54	0,86	0,83	No Cumple
15	499,51	308,7	1,62	286,29	308,57	0,93	0,64	No Cumple
16	347,02	308,7	1,12	302,07	308,61	0,98	0,26	No Cumple
17	243,17	308,7	0,79	206,62	308,47	0,67	0,15	Cumple
18	314,53	308,7	1,02	249,71	307,97	0,81	0,22	No Cumple
19	332,13	308,7	1,08	282,06	308,52	0,91	0,2	No Cumple
20	350,46	308,7	1,14	248,53	308,63	0,81	0,3	No Cumple
21	317,92	308,7	1,03	275,31	308,58	0,89	0,15	No Cumple
22	415,53	308,7	1,35	353,98	308,24	1,15	0,24	No Cumple
23	459,86	308,7	1,49	388,11	308,64	1,26	0,22	No Cumple
24	472,13	308,7	1,53	344,51	308,67	1,12	0,29	No Cumple
25	255,74	308,7	0,83	212,24	308,51	0,69	0,15	Cumple
26	329,08	308,7	1,07	265,08	308,09	0,86	0,21	No Cumple
27	357,99	308,7	1,16	297,47	308,54	0,96	0,21	No Cumple
28	411	308,7	1,33	272,86	308,59	0,88	0,34	No Cumple
29	294,98	308,7	0,96	249,37	308,58	0,81	0,17	Cumple
30	375,38	308,7	1,22	303,22	308,32	0,98	0,27	No Cumple
31	383,14	308,7	1,24	331,85	308,63	1,08	0,2	No Cumple
32	388,87	308,7	1,26	286,89	308,64	0,93	0,33	No Cumple
33	69,72	266,57	0,26	71,67	224,06	0,32	0,12	Cumple
34	153,24	301,57	0,51	147,29	289,06	0,51	0,24	Cumple
35	75,73	270,29	0,28	74,94	232,13	0,32	0,14	Cumple
36	152,3	302,13	0,5	151,72	289,91	0,52	0,23	Cumple
37	155,51	308,7	0,5	66,82	300,81	0,22	0,28	Cumple
38	132,28	308,7	0,43	122,42	305,09	0,4	0,34	Cumple
39	176,28	308,7	0,57	55,87	300,32	0,19	0,31	Cumple

40	134,92	308,7	0,44	110,15	305,72	0,36	0,33	Cumple
41	122,91	308,7	0,4	102,39	303,25	0,34	0,24	Cumple
42	141,19	308,7	0,46	106,07	304,76	0,35	0,39	Cumple
43	153,59	307,28	0,5	61,36	297,47	0,21	0,28	Cumple
44	148,7	308,7	0,48	94,56	304,23	0,31	0,39	Cumple
45	97,67	308,7	0,32	54,33	302,65	0,18	0,22	Cumple
46	101,85	283,67	0,36	70,47	258,9	0,27	0,29	Cumple
47	103,32	300,6	0,34	49,83	287,59	0,17	0,23	Cumple
48	103,34	284,37	0,36	67,43	260,21	0,26	0,29	Cumple
49	103,2	308,7	0,33	53,16	301,93	0,18	0,23	Cumple
50	130,4	284,58	0,46	76,1	260,6	0,29	0,34	Cumple
51	115,93	306,95	0,38	53,12	296,99	0,18	0,24	Cumple
52	104,18	288,65	0,36	78,76	267,93	0,29	0,33	Cumple
53	118,79	308,7	0,38	118,68	302,42	0,39	0,24	Cumple
54	136,83	308,17	0,44	137,09	298,74	0,46	0,3	Cumple
55	108,07	308,7	0,35	95,6	301,39	0,32	0,27	Cumple
56	115,63	287,05	0,4	93,47	265,08	0,35	0,28	Cumple
57	103,76	308,7	0,34	104,52	301,15	0,35	0,3	Cumple
58	130,93	296,1	0,44	130,05	280,5	0,46	0,3	Cumple
59	111,97	307,04	0,36	101,79	297,13	0,34	0,28	Cumple
60	132,24	285,94	0,46	76,87	263,08	0,29	0,29	Cumple
61	86,16	288,64	0,3	67,88	267,92	0,25	0,28	Cumple
62	81,63	273,51	0,3	65,33	238,91	0,27	0,26	Cumple
63	88,91	284,69	0,31	66,77	260,8	0,26	0,28	Cumple
64	73,69	270,34	0,27	66,21	232,25	0,29	0,24	Cumple
65	88,43	283,54	0,31	76,43	258,66	0,3	0,28	Cumple
66	77,29	279,36	0,28	76,4	250,7	0,3	0,26	Cumple
67	94,05	288,37	0,33	95	267,44	0,36	0,27	Cumple
68	104,35	282,46	0,37	106,14	256,65	0,41	0,3	Cumple
69	89,07	264,15	0,34	85,9	218,66	0,39	0,31	Cumple
70	136,02	285,34	0,48	137,23	261,99	0,52	0,49	Cumple
71	106,02	259,43	0,41	79,42	207,9	0,38	0,42	Cumple
72	123,8	288,56	0,43	116,05	267,77	0,43	0,44	Cumple
73	104,62	284,37	0,37	105,02	260,21	0,4	0,32	Cumple
74	153,46	287,63	0,53	122,7	266,13	0,46	0,5	Cumple
75	104,53	261,31	0,4	76,46	212,22	0,36	0,4	Cumple
76	139,04	268,51	0,52	139,05	228,29	0,61	0,53	Cumple
77	107,8	280,35	0,38	108,97	252,62	0,43	0,39	Cumple
78	115	272,81	0,42	114,98	237,46	0,48	0,48	Cumple
79	116,29	283,77	0,41	116,41	259,09	0,45	0,42	Cumple
80	122,36	276,66	0,44	123,04	245,33	0,5	0,51	Cumple
81	139,4	274,94	0,51	112,56	241,85	0,47	0,46	Cumple
82	112,96	293,91	0,38	92,82	276,92	0,34	0,42	Cumple
83	105,22	273,27	0,39	108,03	238,4	0,45	0,39	Cumple

84	112,38	283,64	0,4	112,33	258,85	0,43	0,42	Cumple
85	143,25	279,97	0,51	116,73	251,87	0,46	0,47	Cumple
86	50,4	306,36	0,16	27,96	296,16	0,09	0,09	Cumple
87	146,03	276,55	0,53	115,85	245,12	0,47	0,49	Cumple
88	41,58	304,93	0,14	30,7	294,08	0,1	0,1	Cumple
89	175,85	285,55	0,62	131,15	262,37	0,5	0,56	Cumple
90	56,02	308,7	0,18	38,77	302,72	0,13	0,08	Cumple
91	137,48	279,6	0,49	134,73	251,16	0,54	0,5	Cumple
92	44,29	298,38	0,15	31,44	284,12	0,11	0,1	Cumple
93	95,99	278,3	0,34	85,4	248,61	0,34	0,32	Cumple
94	57,7	300,54	0,19	58,47	287,49	0,2	0,17	Cumple
95	124,24	286,08	0,43	89,34	263,34	0,34	0,38	Cumple
96	61,34	308,7	0,2	53,26	300,8	0,18	0,13	Cumple
97	119,53	298,95	0,4	81,77	285,02	0,29	0,33	Cumple
98	70,33	308,7	0,23	70,19	300,9	0,23	0,16	Cumple
99	97,9	290,87	0,34	86,42	271,79	0,32	0,3	Cumple
100	68,14	299,24	0,23	50,22	285,47	0,18	0,14	Cumple
101	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	5,49	308,68	0,02	0	Cumple
105	8,58	308,7	0,03	7,99	308,7	0,03	0,03	Cumple
106	8,44	308,7	0,03	8,79	308,7	0,03	0,03	Cumple
107	9,15	308,7	0,03	9,26	308,7	0,03	0,03	Cumple
108	7,23	308,7	0,02	8	308,7	0,03	0,03	Cumple
109	39,66	308,7	0,13	28,25	308,69	0,09	0,11	Cumple
110	49,3	308,7	0,16	37,82	308,69	0,12	0,11	Cumple
111	42,37	308,7	0,14	43,37	308,69	0,14	0,13	Cumple
112	36,12	308,7	0,12	32,1	308,69	0,1	0,1	Cumple

3.1.4.2 Estado Límite de Fatiga de las barras

Tabla AII 18.Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	9,06E+04	4,63E+04	0,01	0,02
2	7,87E+02	4,30E+04	2,65E+04	0,02	0,03
3	7,87E+02	5,10E+04	3,01E+04	0,02	0,03
4	7,87E+02	2,05E+05	8,53E+04	0	0,01
5	7,87E+02	1,04E+06	2,89E+05	0	0
6	7,87E+02	8,25E+05	2,43E+05	0	0
7	7,87E+02	6,98E+05	2,14E+05	0	0
8	7,87E+02	9,78E+06	1,55E+06	0	0
9	7,87E+02	1,22E+06	3,26E+05	0	0
10	7,87E+02	7,14E+05	2,18E+05	0	0
11	7,87E+02	8,68E+05	2,52E+05	0	0
12	7,87E+02	8,31E+06	1,37E+06	0	0
13	7,87E+02	4,86E+04	2,90E+04	0,02	0,03
14	7,87E+02	3,77E+04	2,40E+04	0,02	0,03
15	7,87E+02	4,45E+04	2,72E+04	0,02	0,03
16	7,87E+02	1,73E+05	7,54E+04	0	0,01
17	7,87E+02	3,85E+05	1,50E+05	0	0,01
18	7,87E+02	1,38E+05	7,04E+04	0,01	0,01
19	7,87E+02	9,10E+04	5,15E+04	0,01	0,02
20	7,87E+02	6,66E+04	4,07E+04	0,01	0,02
21	7,87E+02	7,53E+07	7,85E+06	0	0
22	7,87E+02	1,54E+07	2,42E+06	0	0
23	7,87E+02	9,47E+06	1,68E+06	0	0
24	7,87E+02	5,16E+06	1,06E+06	0	0
25	7,87E+02	4,55E+07	5,38E+06	0	0
26	7,87E+02	8,31E+06	1,52E+06	0	0
27	7,87E+02	5,35E+06	1,09E+06	0	0
28	7,87E+02	3,14E+06	7,32E+05	0	0
29	7,87E+02	3,10E+05	1,28E+05	0	0,01
30	7,87E+02	1,04E+05	5,67E+04	0,01	0,01
31	7,87E+02	6,99E+04	4,22E+04	0,01	0,02
32	7,87E+02	5,10E+04	3,33E+04	0,02	0,02
33	7,87E+02	3,38E+07	4,36E+06	0	0
34	7,87E+02	1,13E+08	1,08E+07	0	0
35	7,87E+02	3,36E+07	4,33E+06	0	0
36	7,87E+02	9,31E+07	9,31E+06	0	0
37	7,87E+02	2,08E+07	3,03E+06	0	0
38	7,87E+02	5,14E+06	1,06E+06	0	0

39	7,87E+02	1,93E+07	2,86E+06	0	0
40	7,87E+02	5,35E+06	1,09E+06	0	0
41	7,87E+02	8,75E+07	8,89E+06	0	0
42	7,87E+02	1,95E+08	1,62E+07	0	0
43	7,87E+02	7,13E+07	7,62E+06	0	0
44	7,87E+02	1,29E+08	1,19E+07	0	0
45	7,87E+02	1,34E+07	2,17E+06	0	0
46	7,87E+02	3,59E+07	4,56E+06	0	0
47	7,87E+02	1,81E+07	2,73E+06	0	0
48	7,87E+02	3,03E+07	4,01E+06	0	0
49	7,87E+02	1,00E+07	1,75E+06	0	0
50	7,87E+02	2,46E+07	3,43E+06	0	0
51	7,87E+02	4,20E+07	5,12E+06	0	0
52	7,87E+02	2,97E+07	3,96E+06	0	0
53	7,87E+02	3,23E+07	4,21E+06	0	0
54	7,87E+02	7,45E+08	4,43E+07	0	0
55	7,87E+02	2,31E+07	3,27E+06	0	0
56	7,87E+02	4,88E+08	3,23E+07	0	0
57	7,87E+02	2,13E+08	1,73E+07	0	0
58	7,87E+02	9,99E+08	5,52E+07	0	0
59	7,87E+02	2,01E+08	1,66E+07	0	0
60	7,87E+02	5,23E+08	3,39E+07	0	0
61	7,87E+02	4,83E+07	5,69E+06	0	0
62	7,87E+02	1,72E+08	1,47E+07	0	0
63	7,87E+02	1,94E+08	1,61E+07	0	0
64	7,87E+02	1,32E+08	1,21E+07	0	0
65	7,87E+02	2,69E+07	3,67E+06	0	0
66	7,87E+02	1,09E+08	1,05E+07	0	0
67	7,87E+02	3,78E+08	2,66E+07	0	0
68	7,87E+02	1,58E+08	1,38E+07	0	0
69	7,87E+02	1,07E+08	1,03E+07	0	0
70	7,87E+02	5,56E+06	1,12E+06	0	0
71	7,87E+02	1,93E+08	1,61E+07	0	0
72	7,87E+02	5,86E+06	1,17E+06	0	0
73	7,87E+02	2,67E+08	2,05E+07	0	0
74	7,87E+02	2,19E+08	1,77E+07	0	0
75	7,87E+02	1,39E+08	1,26E+07	0	0
76	7,87E+02	3,29E+08	2,40E+07	0	0
77	7,87E+02	9,69E+07	9,59E+06	0	0
78	7,87E+02	5,39E+07	6,18E+06	0	0
79	7,87E+02	3,30E+08	2,41E+07	0	0
80	7,87E+02	2,81E+07	3,79E+06	0	0
81	7,87E+02	5,86E+07	6,58E+06	0	0
82	7,87E+02	4,82E+07	5,68E+06	0	0

83	7,87E+02	2,98E+08	2,23E+07	0	0
84	7,87E+02	1,42E+07	2,27E+06	0	0
85	7,87E+02	3,40E+06	7,78E+05	0	0
86	7,87E+02	1,74E+08	1,49E+07	0	0
87	7,87E+02	3,09E+06	7,24E+05	0	0
88	7,87E+02	3,35E+08	2,43E+07	0	0
89	7,87E+02	3,57E+08	2,55E+07	0	0
90	7,87E+02	5,08E+09	1,87E+08	0	0
91	7,87E+02	3,37E+08	2,44E+07	0	0
92	7,87E+02	1,28E+10	3,74E+08	0	0
93	7,87E+02	1,51E+07	2,38E+06	0	0
94	7,87E+02	3,12E+08	2,31E+07	0	0
95	7,87E+02	4,61E+07	5,49E+06	0	0
96	7,87E+02	2,92E+08	2,19E+07	0	0
97	7,87E+02	1,05E+07	1,81E+06	0	0
98	7,87E+02	2,89E+08	2,17E+07	0	0
99	7,87E+02	3,87E+07	4,82E+06	0	0
100	7,87E+02	3,28E+08	2,40E+07	0	0
101	7,87E+02	2,05E+18	5,33E+14	0	0
102	7,87E+02	2,06E+18	5,35E+14	0	0
103	7,87E+02	2,05E+18	5,31E+14	0	0
104	7,87E+02	2,05E+18	5,33E+14	0	0
105	7,87E+02	6,79E+11	2,63E+09	0	0
106	7,87E+02	8,43E+11	3,09E+09	0	0
107	7,87E+02	9,07E+11	3,27E+09	0	0
108	7,87E+02	1,23E+12	4,10E+09	0	0
109	7,87E+02	1,73E+09	5,60E+07	0	0
110	7,87E+02	9,16E+08	3,48E+07	0	0
111	7,87E+02	3,73E+09	9,98E+07	0	0
112	7,87E+02	5,61E+09	1,35E+08	0	0

Tabla AII 19. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	2,94E+04	1,99E+04	0,03	0,04
2	7,87E+02	2,19E+04	1,60E+04	0,04	0,05
3	7,87E+02	2,43E+04	1,72E+04	0,03	0,05
4	7,87E+02	9,32E+04	4,73E+04	0,01	0,02
5	7,87E+02	4,14E+05	1,45E+05	0	0,01
6	7,87E+02	3,14E+05	1,18E+05	0	0,01
7	7,87E+02	4,84E+05	1,63E+05	0	0
8	7,87E+02	2,42E+06	5,44E+05	0	0
9	7,87E+02	2,38E+05	9,56E+04	0	0,01
10	7,87E+02	4,03E+05	1,42E+05	0	0,01
11	7,87E+02	2,49E+05	9,88E+04	0	0,01
12	7,87E+02	3,76E+06	7,57E+05	0	0
13	7,87E+02	2,96E+05	1,12E+05	0	0,01
14	7,87E+02	2,41E+05	9,66E+04	0	0,01
15	7,87E+02	3,69E+05	1,33E+05	0	0,01
16	7,87E+02	1,53E+06	3,86E+05	0	0
17	7,87E+02	1,58E+05	7,70E+04	0	0,01
18	7,87E+02	5,41E+04	3,48E+04	0,01	0,02
19	7,87E+02	3,64E+04	2,59E+04	0,02	0,03
20	7,87E+02	2,75E+04	2,10E+04	0,03	0,04
21	7,87E+02	5,94E+06	1,17E+06	0	0
22	7,87E+02	1,75E+06	4,72E+05	0	0
23	7,87E+02	1,15E+06	3,45E+05	0	0
24	7,87E+02	7,43E+05	2,49E+05	0	0
25	7,87E+02	1,54E+07	2,39E+06	0	0
26	7,87E+02	8,66E+06	1,57E+06	0	0
27	7,87E+02	7,10E+06	1,35E+06	0	0
28	7,87E+02	7,10E+06	1,35E+06	0	0
29	7,87E+02	3,51E+06	7,88E+05	0	0
30	7,87E+02	1,03E+06	3,17E+05	0	0
31	7,87E+02	6,33E+05	2,20E+05	0	0
32	7,87E+02	3,36E+05	1,37E+05	0	0,01
33	7,87E+02	4,26E+07	5,18E+06	0	0
34	7,87E+02	5,27E+07	6,07E+06	0	0
35	7,87E+02	4,56E+07	5,45E+06	0	0
36	7,87E+02	3,67E+07	4,63E+06	0	0
37	7,87E+02	9,07E+06	1,62E+06	0	0
38	7,87E+02	6,55E+06	1,27E+06	0	0
39	7,87E+02	3,14E+07	4,12E+06	0	0
40	7,87E+02	8,92E+06	1,60E+06	0	0

41	7,87E+02	2,84E+07	3,82E+06	0	0
42	7,87E+02	1,10E+08	1,06E+07	0	0
43	7,87E+02	5,53E+07	6,30E+06	0	0
44	7,87E+02	1,53E+08	1,35E+07	0	0
45	7,87E+02	1,14E+07	1,92E+06	0	0
46	7,87E+02	8,12E+06	1,49E+06	0	0
47	7,87E+02	1,69E+07	2,59E+06	0	0
48	7,87E+02	8,82E+06	1,59E+06	0	0
49	7,87E+02	2,73E+07	3,71E+06	0	0
50	7,87E+02	6,84E+07	7,39E+06	0	0
51	7,87E+02	6,61E+07	7,20E+06	0	0
52	7,87E+02	1,36E+08	1,24E+07	0	0
53	7,87E+02	1,96E+07	2,89E+06	0	0
54	7,87E+02	7,66E+08	4,52E+07	0	0
55	7,87E+02	4,02E+07	4,96E+06	0	0
56	7,87E+02	7,85E+07	8,19E+06	0	0
57	7,87E+02	1,78E+08	1,51E+07	0	0
58	7,87E+02	1,86E+08	1,56E+07	0	0
59	7,87E+02	1,99E+08	1,65E+07	0	0
60	7,87E+02	5,37E+08	3,47E+07	0	0
61	7,87E+02	2,49E+07	3,47E+06	0	0
62	7,87E+02	1,01E+09	5,56E+07	0	0
63	7,87E+02	7,66E+07	8,04E+06	0	0
64	7,87E+02	1,68E+08	1,45E+07	0	0
65	7,87E+02	8,28E+07	8,53E+06	0	0
66	7,87E+02	9,19E+07	9,22E+06	0	0
67	7,87E+02	1,92E+08	1,60E+07	0	0
68	7,87E+02	1,09E+09	5,89E+07	0	0
69	7,87E+02	3,40E+07	4,38E+06	0	0
70	7,87E+02	1,09E+07	1,87E+06	0	0
71	7,87E+02	5,98E+08	3,76E+07	0	0
72	7,87E+02	6,08E+06	1,20E+06	0	0
73	7,87E+02	3,55E+08	2,54E+07	0	0
74	7,87E+02	2,73E+08	2,09E+07	0	0
75	7,87E+02	2,84E+08	2,15E+07	0	0
76	7,87E+02	1,34E+08	1,22E+07	0	0
77	7,87E+02	6,19E+07	6,86E+06	0	0
78	7,87E+02	1,34E+07	2,18E+06	0	0
79	7,87E+02	2,94E+08	2,20E+07	0	0
80	7,87E+02	6,99E+06	1,33E+06	0	0
81	7,87E+02	1,64E+08	1,42E+07	0	0
82	7,87E+02	2,10E+08	1,72E+07	0	0
83	7,87E+02	1,13E+08	1,08E+07	0	0
84	7,87E+02	7,30E+07	7,76E+06	0	0

85	7,87E+02	3,49E+06	7,94E+05	0	0
86	7,87E+02	3,70E+08	2,62E+07	0	0
87	7,87E+02	8,27E+06	1,51E+06	0	0
88	7,87E+02	3,21E+08	2,36E+07	0	0
89	7,87E+02	1,17E+08	1,11E+07	0	0
90	7,87E+02	1,49E+09	7,46E+07	0	0
91	7,87E+02	2,71E+08	2,08E+07	0	0
92	7,87E+02	4,77E+08	3,17E+07	0	0
93	7,87E+02	3,58E+06	8,08E+05	0	0
94	7,87E+02	4,61E+08	3,09E+07	0	0
95	7,87E+02	9,70E+06	1,71E+06	0	0
96	7,87E+02	2,28E+08	1,82E+07	0	0
97	7,87E+02	6,97E+07	7,49E+06	0	0
98	7,87E+02	9,19E+08	5,18E+07	0	0
99	7,87E+02	1,85E+08	1,56E+07	0	0
100	7,87E+02	5,19E+08	3,38E+07	0	0
101	7,87E+02	2,06E+18	5,34E+14	0	0
102	7,87E+02	2,05E+18	5,32E+14	0	0
103	7,87E+02	2,07E+18	5,36E+14	0	0
104	7,87E+02	2,03E+18	5,29E+14	0	0
105	7,87E+02	6,56E+11	2,56E+09	0	0
106	7,87E+02	9,18E+11	3,30E+09	0	0
107	7,87E+02	1,22E+12	4,09E+09	0	0
108	7,87E+02	3,82E+11	1,71E+09	0	0
109	7,87E+02	5,63E+08	2,42E+07	0	0
110	7,87E+02	4,05E+09	1,06E+08	0	0
111	7,87E+02	6,26E+09	1,47E+08	0	0
112	7,87E+02	1,18E+09	4,21E+07	0	0

Tabla AII 20. Caso E1 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	5,69E+04	3,27E+04	0,01	0,02
2	7,87E+02	3,36E+04	2,20E+04	0,02	0,04
3	7,87E+02	3,84E+04	2,43E+04	0,02	0,03
4	7,87E+02	1,55E+05	6,92E+04	0,01	0,01
5	7,87E+02	1,58E+06	3,95E+05	0	0
6	7,87E+02	7,01E+05	2,15E+05	0	0
7	7,87E+02	8,18E+05	2,41E+05	0	0
8	7,87E+02	7,35E+06	1,25E+06	0	0
9	7,87E+02	6,44E+05	2,02E+05	0	0
10	7,87E+02	3,95E+05	1,40E+05	0	0,01
11	7,87E+02	4,76E+05	1,61E+05	0	0
12	7,87E+02	3,71E+06	7,50E+05	0	0
13	7,87E+02	6,25E+04	3,51E+04	0,01	0,02
14	7,87E+02	3,85E+04	2,44E+04	0,02	0,03
15	7,87E+02	4,72E+04	2,84E+04	0,02	0,03
16	7,87E+02	1,72E+05	7,48E+04	0	0,01
17	7,87E+02	2,92E+05	1,22E+05	0	0,01
18	7,87E+02	9,95E+04	5,50E+04	0,01	0,01
19	7,87E+02	6,73E+04	4,10E+04	0,01	0,02
20	7,87E+02	5,25E+04	3,41E+04	0,01	0,02
21	7,87E+02	3,86E+07	4,76E+06	0	0
22	7,87E+02	8,93E+06	1,60E+06	0	0
23	7,87E+02	5,96E+06	1,19E+06	0	0
24	7,87E+02	3,29E+06	7,59E+05	0	0
25	7,87E+02	1,68E+07	2,55E+06	0	0
26	7,87E+02	4,33E+06	9,32E+05	0	0
27	7,87E+02	2,86E+06	6,83E+05	0	0
28	7,87E+02	1,85E+06	4,92E+05	0	0
29	7,87E+02	2,87E+05	1,21E+05	0	0,01
30	7,87E+02	9,15E+04	5,17E+04	0,01	0,02
31	7,87E+02	5,86E+04	3,70E+04	0,01	0,02
32	7,87E+02	4,26E+04	2,91E+04	0,02	0,03
33	7,87E+02	4,31E+07	5,22E+06	0	0
34	7,87E+02	4,22E+07	5,14E+06	0	0
35	7,87E+02	4,51E+07	5,41E+06	0	0
36	7,87E+02	4,59E+07	5,48E+06	0	0
37	7,87E+02	1,10E+07	1,87E+06	0	0
38	7,87E+02	4,59E+06	9,73E+05	0	0
39	7,87E+02	1,36E+07	2,20E+06	0	0
40	7,87E+02	6,05E+06	1,20E+06	0	0

41	7,87E+02	5,33E+07	6,12E+06	0	0
42	7,87E+02	2,33E+08	1,85E+07	0	0
43	7,87E+02	3,86E+07	4,81E+06	0	0
44	7,87E+02	9,36E+07	9,35E+06	0	0
45	7,87E+02	1,36E+07	2,20E+06	0	0
46	7,87E+02	2,25E+07	3,21E+06	0	0
47	7,87E+02	2,93E+07	3,91E+06	0	0
48	7,87E+02	2,79E+07	3,77E+06	0	0
49	7,87E+02	1,18E+07	1,97E+06	0	0
50	7,87E+02	1,80E+07	2,71E+06	0	0
51	7,87E+02	5,49E+07	6,27E+06	0	0
52	7,87E+02	1,89E+07	2,82E+06	0	0
53	7,87E+02	2,69E+07	3,67E+06	0	0
54	7,87E+02	9,52E+08	5,32E+07	0	0
55	7,87E+02	2,06E+07	3,01E+06	0	0
56	7,87E+02	1,65E+08	1,43E+07	0	0
57	7,87E+02	1,50E+08	1,33E+07	0	0
58	7,87E+02	2,85E+08	2,15E+07	0	0
59	7,87E+02	1,41E+08	1,27E+07	0	0
60	7,87E+02	4,14E+08	2,85E+07	0	0
61	7,87E+02	4,67E+07	5,55E+06	0	0
62	7,87E+02	3,41E+08	2,47E+07	0	0
63	7,87E+02	2,88E+08	2,17E+07	0	0
64	7,87E+02	2,43E+08	1,91E+07	0	0
65	7,87E+02	2,92E+07	3,90E+06	0	0
66	7,87E+02	1,25E+08	1,16E+07	0	0
67	7,87E+02	3,23E+08	2,37E+07	0	0
68	7,87E+02	4,45E+08	3,01E+07	0	0
69	7,87E+02	7,49E+07	7,90E+06	0	0
70	7,87E+02	5,59E+06	1,13E+06	0	0
71	7,87E+02	3,54E+08	2,53E+07	0	0
72	7,87E+02	5,59E+06	1,13E+06	0	0
73	7,87E+02	9,38E+08	5,26E+07	0	0
74	7,87E+02	2,06E+08	1,69E+07	0	0
75	7,87E+02	1,39E+08	1,26E+07	0	0
76	7,87E+02	3,13E+08	2,31E+07	0	0
77	7,87E+02	8,72E+07	8,86E+06	0	0
78	7,87E+02	5,67E+07	6,42E+06	0	0
79	7,87E+02	3,31E+08	2,41E+07	0	0
80	7,87E+02	2,00E+07	2,94E+06	0	0
81	7,87E+02	8,85E+07	8,96E+06	0	0
82	7,87E+02	3,09E+07	4,07E+06	0	0
83	7,87E+02	1,19E+08	1,12E+07	0	0
84	7,87E+02	1,29E+07	2,12E+06	0	0

85	7,87E+02	3,14E+06	7,33E+05	0	0
86	7,87E+02	1,84E+08	1,55E+07	0	0
87	7,87E+02	3,17E+06	7,38E+05	0	0
88	7,87E+02	3,29E+08	2,40E+07	0	0
89	7,87E+02	3,23E+08	2,36E+07	0	0
90	7,87E+02	2,26E+09	1,02E+08	0	0
91	7,87E+02	3,48E+08	2,50E+07	0	0
92	7,87E+02	5,99E+09	2,11E+08	0	0
93	7,87E+02	1,02E+07	1,78E+06	0	0
94	7,87E+02	2,87E+08	2,17E+07	0	0
95	7,87E+02	4,83E+07	5,69E+06	0	0
96	7,87E+02	2,94E+08	2,21E+07	0	0
97	7,87E+02	7,78E+06	1,45E+06	0	0
98	7,87E+02	2,42E+08	1,91E+07	0	0
99	7,87E+02	3,58E+07	4,55E+06	0	0
100	7,87E+02	2,83E+08	2,15E+07	0	0
101	7,87E+02	2,06E+18	5,34E+14	0	0
102	7,87E+02	2,07E+18	5,36E+14	0	0
103	7,87E+02	2,05E+18	5,33E+14	0	0
104	7,87E+02	2,06E+18	5,34E+14	0	0
105	7,87E+02	7,00E+11	2,69E+09	0	0
106	7,87E+02	6,61E+11	2,58E+09	0	0
107	7,87E+02	1,38E+12	4,48E+09	0	0
108	7,87E+02	6,81E+11	2,64E+09	0	0
109	7,87E+02	1,17E+09	4,18E+07	0	0
110	7,87E+02	1,12E+09	4,05E+07	0	0
111	7,87E+02	6,21E+09	1,46E+08	0	0
112	7,87E+02	2,52E+09	7,44E+07	0	0

Tabla AII 21. Caso El jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	6,30E+04	3,53E+04	0,01	0,02
2	7,87E+02	3,39E+04	2,22E+04	0,02	0,04
3	7,87E+02	3,94E+04	2,48E+04	0,02	0,03
4	7,87E+02	1,54E+05	6,88E+04	0,01	0,01
5	7,87E+02	7,14E+05	2,18E+05	0	0
6	7,87E+02	4,31E+05	1,49E+05	0	0,01
7	7,87E+02	5,20E+05	1,72E+05	0	0
8	7,87E+02	4,21E+06	8,24E+05	0	0
9	7,87E+02	8,88E+05	2,57E+05	0	0
10	7,87E+02	3,90E+05	1,38E+05	0	0,01
11	7,87E+02	5,29E+05	1,74E+05	0	0
12	7,87E+02	3,54E+06	7,24E+05	0	0
13	7,87E+02	5,35E+04	3,12E+04	0,01	0,03
14	7,87E+02	3,13E+04	2,09E+04	0,03	0,04
15	7,87E+02	3,65E+04	2,34E+04	0,02	0,03
16	7,87E+02	1,39E+05	6,39E+04	0,01	0,01
17	7,87E+02	2,74E+05	1,16E+05	0	0,01
18	7,87E+02	9,11E+04	5,15E+04	0,01	0,02
19	7,87E+02	6,04E+04	3,78E+04	0,01	0,02
20	7,87E+02	4,85E+04	3,21E+04	0,02	0,02
21	7,87E+02	2,34E+07	3,27E+06	0	0
22	7,87E+02	5,22E+06	1,07E+06	0	0
23	7,87E+02	3,53E+06	8,00E+05	0	0
24	7,87E+02	1,89E+06	5,01E+05	0	0
25	7,87E+02	1,37E+07	2,19E+06	0	0
26	7,87E+02	3,41E+06	7,79E+05	0	0
27	7,87E+02	2,27E+06	5,75E+05	0	0
28	7,87E+02	1,54E+06	4,30E+05	0	0
29	7,87E+02	2,30E+05	1,02E+05	0	0,01
30	7,87E+02	7,84E+04	4,60E+04	0,01	0,02
31	7,87E+02	5,20E+04	3,38E+04	0,02	0,02
32	7,87E+02	3,87E+04	2,71E+04	0,02	0,03
33	7,87E+02	9,49E+07	9,45E+06	0	0
34	7,87E+02	2,65E+07	3,63E+06	0	0
35	7,87E+02	9,47E+07	9,43E+06	0	0
36	7,87E+02	3,71E+07	4,67E+06	0	0
37	7,87E+02	9,47E+06	1,68E+06	0	0
38	7,87E+02	4,81E+06	1,01E+06	0	0
39	7,87E+02	1,05E+07	1,81E+06	0	0
40	7,87E+02	5,17E+06	1,06E+06	0	0

41	7,87E+02	3,41E+07	4,39E+06	0	0
42	7,87E+02	1,76E+08	1,50E+07	0	0
43	7,87E+02	3,49E+07	4,46E+06	0	0
44	7,87E+02	1,04E+08	1,01E+07	0	0
45	7,87E+02	1,78E+07	2,69E+06	0	0
46	7,87E+02	1,90E+07	2,83E+06	0	0
47	7,87E+02	7,69E+07	8,06E+06	0	0
48	7,87E+02	2,19E+07	3,15E+06	0	0
49	7,87E+02	1,64E+07	2,53E+06	0	0
50	7,87E+02	1,54E+07	2,41E+06	0	0
51	7,87E+02	6,35E+07	6,99E+06	0	0
52	7,87E+02	1,79E+07	2,70E+06	0	0
53	7,87E+02	2,17E+07	3,13E+06	0	0
54	7,87E+02	2,60E+08	2,01E+07	0	0
55	7,87E+02	2,10E+07	3,05E+06	0	0
56	7,87E+02	3,01E+08	2,25E+07	0	0
57	7,87E+02	1,43E+08	1,28E+07	0	0
58	7,87E+02	3,12E+08	2,31E+07	0	0
59	7,87E+02	8,10E+07	8,38E+06	0	0
60	7,87E+02	1,56E+08	1,37E+07	0	0
61	7,87E+02	5,20E+07	6,01E+06	0	0
62	7,87E+02	2,07E+08	1,69E+07	0	0
63	7,87E+02	3,28E+08	2,39E+07	0	0
64	7,87E+02	4,83E+08	3,20E+07	0	0
65	7,87E+02	4,27E+07	5,18E+06	0	0
66	7,87E+02	2,81E+08	2,13E+07	0	0
67	7,87E+02	1,88E+08	1,57E+07	0	0
68	7,87E+02	2,01E+08	1,66E+07	0	0
69	7,87E+02	1,41E+08	1,27E+07	0	0
70	7,87E+02	4,71E+06	9,94E+05	0	0
71	7,87E+02	1,63E+08	1,42E+07	0	0
72	7,87E+02	5,89E+06	1,17E+06	0	0
73	7,87E+02	5,16E+08	3,36E+07	0	0
74	7,87E+02	1,74E+08	1,49E+07	0	0
75	7,87E+02	3,37E+08	2,44E+07	0	0
76	7,87E+02	2,89E+08	2,17E+07	0	0
77	7,87E+02	1,11E+08	1,06E+07	0	0
78	7,87E+02	4,28E+07	5,20E+06	0	0
79	7,87E+02	9,96E+07	9,80E+06	0	0
80	7,87E+02	1,34E+07	2,18E+06	0	0
81	7,87E+02	3,46E+07	4,43E+06	0	0
82	7,87E+02	3,16E+07	4,14E+06	0	0
83	7,87E+02	1,60E+08	1,40E+07	0	0
84	7,87E+02	1,12E+07	1,90E+06	0	0

85	7,87E+02	2,48E+06	6,13E+05	0	0
86	7,87E+02	1,72E+08	1,47E+07	0	0
87	7,87E+02	2,96E+06	7,02E+05	0	0
88	7,87E+02	2,93E+08	2,20E+07	0	0
89	7,87E+02	2,43E+08	1,91E+07	0	0
90	7,87E+02	1,53E+09	7,61E+07	0	0
91	7,87E+02	2,36E+08	1,87E+07	0	0
92	7,87E+02	3,59E+09	1,44E+08	0	0
93	7,87E+02	8,88E+06	1,60E+06	0	0
94	7,87E+02	2,84E+08	2,15E+07	0	0
95	7,87E+02	4,44E+07	5,35E+06	0	0
96	7,87E+02	2,61E+08	2,02E+07	0	0
97	7,87E+02	6,69E+06	1,29E+06	0	0
98	7,87E+02	2,53E+08	1,97E+07	0	0
99	7,87E+02	3,06E+07	4,04E+06	0	0
100	7,87E+02	2,85E+08	2,15E+07	0	0
101	7,87E+02	2,05E+18	5,32E+14	0	0
102	7,87E+02	2,07E+18	5,36E+14	0	0
103	7,87E+02	2,07E+18	5,35E+14	0	0
104	7,87E+02	2,07E+18	5,37E+14	0	0
105	7,87E+02	8,13E+11	3,01E+09	0	0
106	7,87E+02	6,35E+11	2,50E+09	0	0
107	7,87E+02	8,39E+11	3,08E+09	0	0
108	7,87E+02	8,33E+11	3,07E+09	0	0
109	7,87E+02	1,28E+09	4,47E+07	0	0
110	7,87E+02	1,06E+09	3,89E+07	0	0
111	7,87E+02	3,14E+09	8,77E+07	0	0
112	7,87E+02	3,22E+09	8,94E+07	0	0

Tabla AII 22. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	2,09E+03	2,74E+03	0,38	0,29
2	7,87E+02	5,56E+03	5,71E+03	0,14	0,14
3	7,87E+02	1,14E+04	9,79E+03	0,07	0,08
4	7,87E+02	6,37E+04	3,56E+04	0,01	0,02
5	7,87E+02	9,86E+02	1,56E+03	0,8	0,5
6	7,87E+02	2,61E+03	3,24E+03	0,3	0,24
7	7,87E+02	1,25E+04	1,05E+04	0,06	0,07
8	7,87E+02	1,14E+05	5,50E+04	0,01	0,01
9	7,87E+02	1,07E+03	1,66E+03	0,74	0,48
10	7,87E+02	2,76E+03	3,38E+03	0,28	0,23
11	7,87E+02	1,22E+04	1,03E+04	0,06	0,08
12	7,87E+02	1,03E+05	5,11E+04	0,01	0,02
13	7,87E+02	1,73E+03	2,38E+03	0,45	0,33
14	7,87E+02	3,94E+03	4,41E+03	0,2	0,18
15	7,87E+02	8,79E+03	8,05E+03	0,09	0,1
16	7,87E+02	4,50E+04	2,74E+04	0,02	0,03
17	7,87E+02	2,46E+05	1,07E+05	0	0,01
18	7,87E+02	9,13E+04	5,16E+04	0,01	0,02
19	7,87E+02	7,85E+04	4,60E+04	0,01	0,02
20	7,87E+02	5,58E+04	3,57E+04	0,01	0,02
21	7,87E+02	2,07E+06	5,31E+05	0	0
22	7,87E+02	2,00E+06	5,22E+05	0	0
23	7,87E+02	2,51E+06	6,20E+05	0	0
24	7,87E+02	1,17E+06	3,49E+05	0	0
25	7,87E+02	1,61E+06	4,39E+05	0	0
26	7,87E+02	1,16E+06	3,48E+05	0	0
27	7,87E+02	1,77E+06	4,76E+05	0	0
28	7,87E+02	9,56E+05	3,00E+05	0	0
29	7,87E+02	2,13E+05	9,65E+04	0	0,01
30	7,87E+02	7,95E+04	4,65E+04	0,01	0,02
31	7,87E+02	6,47E+04	3,99E+04	0,01	0,02
32	7,87E+02	4,75E+04	3,16E+04	0,02	0,02
33	7,87E+02	1,11E+05	5,96E+04	0,01	0,01
34	7,87E+02	3,10E+07	4,09E+06	0	0
35	7,87E+02	1,21E+05	6,36E+04	0,01	0,01
36	7,87E+02	4,22E+07	5,15E+06	0	0
37	7,87E+02	4,18E+06	9,09E+05	0	0
38	7,87E+02	1,01E+06	3,13E+05	0	0
39	7,87E+02	5,91E+06	1,18E+06	0	0
40	7,87E+02	1,20E+06	3,57E+05	0	0

41	7,87E+02	4,07E+06	8,90E+05	0	0
42	7,87E+02	8,84E+05	2,83E+05	0	0
43	7,87E+02	3,56E+06	8,06E+05	0	0
44	7,87E+02	9,69E+05	3,03E+05	0	0
45	7,87E+02	2,67E+05	1,15E+05	0	0,01
46	7,87E+02	3,35E+05	1,37E+05	0	0,01
47	7,87E+02	8,93E+04	5,07E+04	0,01	0,02
48	7,87E+02	3,40E+05	1,38E+05	0	0,01
49	7,87E+02	2,23E+05	1,01E+05	0	0,01
50	7,87E+02	2,99E+05	1,26E+05	0	0,01
51	7,87E+02	9,52E+04	5,32E+04	0,01	0,01
52	7,87E+02	4,08E+05	1,59E+05	0	0
53	7,87E+02	5,91E+05	2,09E+05	0	0
54	7,87E+02	5,11E+05	1,88E+05	0	0
55	7,87E+02	7,34E+05	2,46E+05	0	0
56	7,87E+02	6,63E+05	2,28E+05	0	0
57	7,87E+02	6,96E+05	2,37E+05	0	0
58	7,87E+02	3,98E+05	1,56E+05	0	0,01
59	7,87E+02	7,58E+05	2,52E+05	0	0
60	7,87E+02	4,06E+05	1,58E+05	0	0
61	7,87E+02	3,84E+05	1,51E+05	0	0,01
62	7,87E+02	1,47E+05	7,36E+04	0,01	0,01
63	7,87E+02	4,23E+05	1,63E+05	0	0
64	7,87E+02	1,93E+05	9,04E+04	0	0,01
65	7,87E+02	3,93E+05	1,54E+05	0	0,01
66	7,87E+02	1,69E+05	8,20E+04	0	0,01
67	7,87E+02	5,07E+05	1,87E+05	0	0
68	7,87E+02	1,88E+05	8,85E+04	0	0,01
69	7,87E+02	3,10E+05	1,29E+05	0	0,01
70	7,87E+02	4,88E+05	1,81E+05	0	0
71	7,87E+02	2,28E+05	1,03E+05	0	0,01
72	7,87E+02	3,82E+05	1,51E+05	0	0,01
73	7,87E+02	2,84E+05	1,21E+05	0	0,01
74	7,87E+02	7,88E+05	2,60E+05	0	0
75	7,87E+02	2,64E+05	1,14E+05	0	0,01
76	7,87E+02	6,40E+05	2,22E+05	0	0
77	7,87E+02	4,01E+05	1,57E+05	0	0,01
78	7,87E+02	1,42E+06	4,04E+05	0	0
79	7,87E+02	4,46E+05	1,70E+05	0	0
80	7,87E+02	4,11E+06	8,97E+05	0	0
81	7,87E+02	5,39E+05	1,96E+05	0	0
82	7,87E+02	1,75E+06	4,73E+05	0	0
83	7,87E+02	4,89E+05	1,82E+05	0	0
84	7,87E+02	3,62E+06	8,15E+05	0	0

85	7,87E+02	2,87E+06	6,85E+05	0	0
86	7,87E+02	1,31E+08	1,20E+07	0	0
87	7,87E+02	2,71E+06	6,57E+05	0	0
88	7,87E+02	1,88E+08	1,57E+07	0	0
89	7,87E+02	5,58E+07	6,34E+06	0	0
90	7,87E+02	8,99E+08	5,10E+07	0	0
91	7,87E+02	6,60E+07	7,19E+06	0	0
92	7,87E+02	1,86E+09	8,79E+07	0	0
93	7,87E+02	1,42E+06	4,04E+05	0	0
94	7,87E+02	1,89E+08	1,58E+07	0	0
95	7,87E+02	8,15E+06	1,50E+06	0	0
96	7,87E+02	1,71E+08	1,47E+07	0	0
97	7,87E+02	9,63E+05	3,02E+05	0	0
98	7,87E+02	1,15E+08	1,09E+07	0	0
99	7,87E+02	8,50E+06	1,55E+06	0	0
100	7,87E+02	1,38E+08	1,25E+07	0	0
101	7,87E+02	1,81E+18	4,84E+14	0	0
102	7,87E+02	1,81E+18	4,86E+14	0	0
103	7,87E+02	1,82E+18	4,86E+14	0	0
104	7,87E+02	1,81E+18	4,86E+14	0	0
105	7,87E+02	1,94E+10	1,83E+08	0	0
106	7,87E+02	2,29E+10	2,07E+08	0	0
107	7,87E+02	2,02E+10	1,88E+08	0	0
108	7,87E+02	2,28E+10	2,06E+08	0	0
109	7,87E+02	4,23E+07	3,47E+06	0	0
110	7,87E+02	3,83E+07	3,21E+06	0	0
111	7,87E+02	2,36E+07	2,24E+06	0	0
112	7,87E+02	2,64E+07	2,44E+06	0	0

Tabla AII 23. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	6,77E+02	1,18E+03	1,16	0,67
2	7,87E+02	1,52E+03	2,15E+03	0,52	0,37
3	7,87E+02	2,63E+03	3,26E+03	0,3	0,24
4	7,87E+02	1,89E+04	1,43E+04	0,04	0,06
5	7,87E+02	6,41E+03	6,35E+03	0,12	0,12
6	7,87E+02	2,05E+04	1,52E+04	0,04	0,05
7	7,87E+02	1,43E+05	6,51E+04	0,01	0,01
8	7,87E+02	5,15E+05	1,70E+05	0	0
9	7,87E+02	1,47E+03	2,11E+03	0,53	0,37
10	7,87E+02	5,89E+03	5,96E+03	0,13	0,13
11	7,87E+02	1,63E+04	1,28E+04	0,05	0,06
12	7,87E+02	2,88E+05	1,10E+05	0	0,01
13	7,87E+02	3,26E+03	3,82E+03	0,24	0,21
14	7,87E+02	1,08E+04	9,38E+03	0,07	0,08
15	7,87E+02	8,40E+04	4,38E+04	0,01	0,02
16	7,87E+02	2,37E+05	9,53E+04	0	0,01
17	7,87E+02	1,00E+05	5,47E+04	0,01	0,01
18	7,87E+02	3,83E+04	2,69E+04	0,02	0,03
19	7,87E+02	3,37E+04	2,44E+04	0,02	0,03
20	7,87E+02	2,59E+04	2,01E+04	0,03	0,04
21	7,87E+02	2,82E+06	6,69E+05	0	0
22	7,87E+02	8,85E+05	2,84E+05	0	0
23	7,87E+02	9,39E+05	2,96E+05	0	0
24	7,87E+02	5,42E+05	1,96E+05	0	0
25	7,87E+02	4,13E+06	8,90E+05	0	0
26	7,87E+02	3,14E+06	7,32E+05	0	0
27	7,87E+02	2,55E+06	6,27E+05	0	0
28	7,87E+02	1,09E+06	3,33E+05	0	0
29	7,87E+02	1,02E+06	3,12E+05	0	0
30	7,87E+02	6,10E+05	2,14E+05	0	0
31	7,87E+02	4,00E+05	1,56E+05	0	0,01
32	7,87E+02	2,69E+05	1,16E+05	0	0,01
33	7,87E+02	8,75E+05	2,81E+05	0	0
34	7,87E+02	8,23E+05	2,68E+05	0	0
35	7,87E+02	5,36E+05	1,95E+05	0	0
36	7,87E+02	5,36E+05	1,95E+05	0	0
37	7,87E+02	2,39E+05	1,06E+05	0	0,01
38	7,87E+02	7,81E+05	2,58E+05	0	0
39	7,87E+02	1,23E+06	3,64E+05	0	0
40	7,87E+02	4,15E+05	1,61E+05	0	0

41	7,87E+02	1,36E+06	3,92E+05	0	0
42	7,87E+02	8,36E+05	2,72E+05	0	0
43	7,87E+02	7,41E+05	2,48E+05	0	0
44	7,87E+02	3,91E+06	8,64E+05	0	0
45	7,87E+02	3,38E+05	1,38E+05	0	0,01
46	7,87E+02	1,31E+06	3,81E+05	0	0
47	7,87E+02	9,80E+05	3,06E+05	0	0
48	7,87E+02	6,10E+05	2,14E+05	0	0
49	7,87E+02	6,76E+05	2,32E+05	0	0
50	7,87E+02	8,64E+05	2,78E+05	0	0
51	7,87E+02	7,16E+05	2,42E+05	0	0
52	7,87E+02	4,21E+06	9,14E+05	0	0
53	7,87E+02	5,55E+05	2,00E+05	0	0
54	7,87E+02	7,67E+06	1,43E+06	0	0
55	7,87E+02	1,87E+06	4,98E+05	0	0
56	7,87E+02	2,00E+05	9,30E+04	0	0,01
57	7,87E+02	2,57E+06	6,30E+05	0	0
58	7,87E+02	2,48E+05	1,09E+05	0	0,01
59	7,87E+02	7,68E+05	2,55E+05	0	0
60	7,87E+02	8,77E+06	1,58E+06	0	0
61	7,87E+02	9,05E+05	2,88E+05	0	0
62	7,87E+02	7,87E+06	1,46E+06	0	0
63	7,87E+02	3,22E+06	7,47E+05	0	0
64	7,87E+02	3,23E+05	1,33E+05	0	0,01
65	7,87E+02	1,67E+06	4,56E+05	0	0
66	7,87E+02	2,42E+05	1,07E+05	0	0,01
67	7,87E+02	9,70E+05	3,04E+05	0	0
68	7,87E+02	1,12E+07	1,90E+06	0	0
69	7,87E+02	2,36E+05	1,05E+05	0	0,01
70	7,87E+02	5,84E+06	1,17E+06	0	0
71	7,87E+02	7,45E+06	1,40E+06	0	0
72	7,87E+02	1,73E+06	4,69E+05	0	0
73	7,87E+02	7,29E+06	1,38E+06	0	0
74	7,87E+02	2,06E+06	5,34E+05	0	0
75	7,87E+02	3,75E+05	1,49E+05	0	0,01
76	7,87E+02	8,63E+06	1,56E+06	0	0
77	7,87E+02	3,37E+05	1,37E+05	0	0,01
78	7,87E+02	4,68E+06	9,88E+05	0	0
79	7,87E+02	5,02E+06	1,04E+06	0	0
80	7,87E+02	1,80E+06	4,82E+05	0	0
81	7,87E+02	6,12E+06	1,21E+06	0	0
82	7,87E+02	2,02E+06	5,27E+05	0	0
83	7,87E+02	4,60E+05	1,74E+05	0	0
84	7,87E+02	3,62E+06	8,15E+05	0	0

85	7,87E+02	2,68E+06	6,50E+05	0	0
86	7,87E+02	1,54E+08	1,36E+07	0	0
87	7,87E+02	2,96E+06	7,01E+05	0	0
88	7,87E+02	2,20E+08	1,77E+07	0	0
89	7,87E+02	1,13E+07	1,92E+06	0	0
90	7,87E+02	7,00E+08	4,23E+07	0	0
91	7,87E+02	3,44E+07	4,41E+06	0	0
92	7,87E+02	3,32E+08	2,42E+07	0	0
93	7,87E+02	3,01E+06	7,10E+05	0	0
94	7,87E+02	2,11E+08	1,72E+07	0	0
95	7,87E+02	4,07E+06	8,90E+05	0	0
96	7,87E+02	1,40E+08	1,27E+07	0	0
97	7,87E+02	9,50E+06	1,68E+06	0	0
98	7,87E+02	3,55E+08	2,54E+07	0	0
99	7,87E+02	6,80E+07	7,36E+06	0	0
100	7,87E+02	2,82E+08	2,14E+07	0	0
101	7,87E+02	1,82E+18	4,87E+14	0	0
102	7,87E+02	1,83E+18	4,89E+14	0	0
103	7,87E+02	1,82E+18	4,87E+14	0	0
104	7,87E+02	1,78E+18	4,78E+14	0	0
105	7,87E+02	1,66E+10	1,63E+08	0	0
106	7,87E+02	3,79E+10	3,02E+08	0	0
107	7,87E+02	8,01E+10	5,30E+08	0	0
108	7,87E+02	9,15E+09	1,04E+08	0	0
109	7,87E+02	1,43E+07	1,53E+06	0	0
110	7,87E+02	6,92E+07	5,01E+06	0	0
111	7,87E+02	1,56E+08	9,24E+06	0	0
112	7,87E+02	1,82E+07	1,84E+06	0	0

Tabla AII 24. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	1,64E+03	2,28E+03	0,48	0,34
2	7,87E+02	3,78E+03	4,27E+03	0,21	0,18
3	7,87E+02	6,26E+03	6,24E+03	0,13	0,13
4	7,87E+02	4,90E+04	2,92E+04	0,02	0,03
5	7,87E+02	2,83E+03	3,44E+03	0,28	0,23
6	7,87E+02	1,03E+04	9,09E+03	0,08	0,09
7	7,87E+02	1,16E+05	5,58E+04	0,01	0,01
8	7,87E+02	6,24E+05	1,97E+05	0	0
9	7,87E+02	7,91E+02	1,32E+03	1	0,6
10	7,87E+02	2,00E+03	2,66E+03	0,39	0,3
11	7,87E+02	6,18E+03	6,18E+03	0,13	0,13
12	7,87E+02	7,82E+04	4,15E+04	0,01	0,02
13	7,87E+02	2,00E+03	2,66E+03	0,39	0,3
14	7,87E+02	6,17E+03	6,17E+03	0,13	0,13
15	7,87E+02	2,18E+04	1,59E+04	0,04	0,05
16	7,87E+02	7,01E+04	3,82E+04	0,01	0,02
17	7,87E+02	1,47E+05	7,29E+04	0,01	0,01
18	7,87E+02	5,25E+04	3,41E+04	0,01	0,02
19	7,87E+02	3,62E+04	2,58E+04	0,02	0,03
20	7,87E+02	3,21E+04	2,36E+04	0,02	0,03
21	7,87E+02	2,29E+06	5,72E+05	0	0
22	7,87E+02	7,04E+05	2,39E+05	0	0
23	7,87E+02	4,81E+05	1,80E+05	0	0
24	7,87E+02	2,87E+05	1,22E+05	0	0,01
25	7,87E+02	7,12E+05	2,38E+05	0	0
26	7,87E+02	2,97E+05	1,25E+05	0	0,01
27	7,87E+02	2,92E+05	1,23E+05	0	0,01
28	7,87E+02	2,07E+05	9,52E+04	0	0,01
29	7,87E+02	1,12E+05	5,95E+04	0,01	0,01
30	7,87E+02	3,74E+04	2,64E+04	0,02	0,03
31	7,87E+02	2,52E+04	1,96E+04	0,03	0,04
32	7,87E+02	2,10E+04	1,72E+04	0,04	0,05
33	7,87E+02	3,30E+05	1,35E+05	0	0,01
34	7,87E+02	3,43E+05	1,39E+05	0	0,01
35	7,87E+02	3,45E+05	1,40E+05	0	0,01
36	7,87E+02	4,41E+05	1,68E+05	0	0
37	7,87E+02	4,25E+05	1,64E+05	0	0
38	7,87E+02	9,05E+05	2,88E+05	0	0
39	7,87E+02	4,63E+05	1,74E+05	0	0
40	7,87E+02	3,57E+05	1,44E+05	0	0,01

41	7,87E+02	2,12E+06	5,45E+05	0	0
42	7,87E+02	3,04E+05	1,27E+05	0	0,01
43	7,87E+02	2,53E+05	1,11E+05	0	0,01
44	7,87E+02	1,31E+06	3,79E+05	0	0
45	7,87E+02	8,45E+05	2,74E+05	0	0
46	7,87E+02	2,89E+06	6,88E+05	0	0
47	7,87E+02	4,74E+05	1,77E+05	0	0
48	7,87E+02	3,37E+05	1,38E+05	0	0,01
49	7,87E+02	7,33E+05	2,46E+05	0	0
50	7,87E+02	2,66E+05	1,15E+05	0	0,01
51	7,87E+02	2,37E+05	1,05E+05	0	0,01
52	7,87E+02	1,48E+06	4,17E+05	0	0
53	7,87E+02	2,92E+05	1,24E+05	0	0,01
54	7,87E+02	3,19E+06	7,41E+05	0	0
55	7,87E+02	1,42E+06	4,04E+05	0	0
56	7,87E+02	1,31E+05	6,75E+04	0,01	0,01
57	7,87E+02	1,47E+06	4,14E+05	0	0
58	7,87E+02	7,87E+04	4,62E+04	0,01	0,02
59	7,87E+02	2,62E+05	1,14E+05	0	0,01
60	7,87E+02	3,00E+06	7,09E+05	0	0
61	7,87E+02	2,95E+05	1,24E+05	0	0,01
62	7,87E+02	2,87E+06	6,85E+05	0	0
63	7,87E+02	1,43E+06	4,06E+05	0	0
64	7,87E+02	1,38E+05	7,04E+04	0,01	0,01
65	7,87E+02	1,76E+06	4,75E+05	0	0
66	7,87E+02	1,06E+05	5,76E+04	0,01	0,01
67	7,87E+02	3,17E+05	1,31E+05	0	0,01
68	7,87E+02	3,82E+06	8,48E+05	0	0
69	7,87E+02	1,52E+05	7,56E+04	0,01	0,01
70	7,87E+02	1,92E+06	5,07E+05	0	0
71	7,87E+02	2,00E+06	5,23E+05	0	0
72	7,87E+02	7,21E+05	2,43E+05	0	0
73	7,87E+02	2,18E+06	5,57E+05	0	0
74	7,87E+02	7,14E+05	2,41E+05	0	0
75	7,87E+02	1,00E+05	5,54E+04	0,01	0,01
76	7,87E+02	3,70E+06	8,29E+05	0	0
77	7,87E+02	1,39E+05	7,09E+04	0,01	0,01
78	7,87E+02	2,63E+06	6,41E+05	0	0
79	7,87E+02	1,55E+06	4,31E+05	0	0
80	7,87E+02	6,55E+05	2,26E+05	0	0
81	7,87E+02	2,40E+06	5,98E+05	0	0
82	7,87E+02	4,96E+05	1,84E+05	0	0
83	7,87E+02	1,27E+05	6,59E+04	0,01	0,01
84	7,87E+02	1,70E+06	4,62E+05	0	0

85	7,87E+02	1,71E+06	4,65E+05	0	0
86	7,87E+02	1,24E+08	1,15E+07	0	0
87	7,87E+02	1,65E+06	4,51E+05	0	0
88	7,87E+02	1,85E+08	1,56E+07	0	0
89	7,87E+02	5,07E+06	1,05E+06	0	0
90	7,87E+02	1,96E+08	1,63E+07	0	0
91	7,87E+02	1,46E+07	2,32E+06	0	0
92	7,87E+02	4,30E+08	2,93E+07	0	0
93	7,87E+02	3,35E+06	7,70E+05	0	0
94	7,87E+02	1,56E+08	1,37E+07	0	0
95	7,87E+02	8,14E+06	1,50E+06	0	0
96	7,87E+02	1,20E+08	1,13E+07	0	0
97	7,87E+02	2,62E+06	6,40E+05	0	0
98	7,87E+02	1,07E+08	1,03E+07	0	0
99	7,87E+02	7,83E+06	1,45E+06	0	0
100	7,87E+02	1,14E+08	1,08E+07	0	0
101	7,87E+02	1,87E+18	4,96E+14	0	0
102	7,87E+02	1,87E+18	4,97E+14	0	0
103	7,87E+02	1,88E+18	4,98E+14	0	0
104	7,87E+02	1,87E+18	4,97E+14	0	0
105	7,87E+02	1,22E+10	1,29E+08	0	0
106	7,87E+02	2,70E+10	2,34E+08	0	0
107	7,87E+02	3,55E+10	2,87E+08	0	0
108	7,87E+02	1,86E+10	1,77E+08	0	0
109	7,87E+02	2,73E+07	2,49E+06	0	0
110	7,87E+02	4,88E+07	3,86E+06	0	0
111	7,87E+02	7,22E+07	5,18E+06	0	0
112	7,87E+02	1,86E+07	1,87E+06	0	0

Tabla AII 25. Caso E2 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	2,77E+03	3,39E+03	0,28	0,23
2	7,87E+02	6,36E+03	6,31E+03	0,12	0,12
3	7,87E+02	1,36E+04	1,11E+04	0,06	0,07
4	7,87E+02	6,11E+04	3,45E+04	0,01	0,02
5	7,87E+02	1,33E+03	1,95E+03	0,59	0,4
6	7,87E+02	5,03E+03	5,30E+03	0,16	0,15
7	7,87E+02	3,87E+04	2,45E+04	0,02	0,03
8	7,87E+02	2,46E+05	9,81E+04	0	0,01
9	7,87E+02	1,32E+03	1,95E+03	0,59	0,4
10	7,87E+02	3,66E+03	4,18E+03	0,21	0,19
11	7,87E+02	1,87E+04	1,42E+04	0,04	0,06
12	7,87E+02	9,69E+04	4,87E+04	0,01	0,02
13	7,87E+02	6,67E+02	1,16E+03	1,18	0,68
14	7,87E+02	1,63E+03	2,28E+03	0,48	0,35
15	7,87E+02	5,04E+03	5,31E+03	0,16	0,15
16	7,87E+02	2,33E+04	1,67E+04	0,03	0,05
17	7,87E+02	1,21E+05	6,30E+04	0,01	0,01
18	7,87E+02	4,17E+04	2,87E+04	0,02	0,03
19	7,87E+02	3,03E+04	2,25E+04	0,03	0,03
20	7,87E+02	2,75E+04	2,10E+04	0,03	0,04
21	7,87E+02	7,96E+05	2,59E+05	0	0
22	7,87E+02	3,02E+05	1,27E+05	0	0,01
23	7,87E+02	2,14E+05	9,77E+04	0	0,01
24	7,87E+02	1,32E+05	6,81E+04	0,01	0,01
25	7,87E+02	5,66E+05	2,00E+05	0	0
26	7,87E+02	2,24E+05	1,01E+05	0	0,01
27	7,87E+02	1,81E+05	8,62E+04	0	0,01
28	7,87E+02	1,41E+05	7,16E+04	0,01	0,01
29	7,87E+02	7,79E+04	4,53E+04	0,01	0,02
30	7,87E+02	2,68E+04	2,06E+04	0,03	0,04
31	7,87E+02	1,84E+04	1,55E+04	0,04	0,05
32	7,87E+02	1,60E+04	1,40E+04	0,05	0,06
33	7,87E+02	3,50E+07	4,47E+06	0	0
34	7,87E+02	1,15E+05	6,15E+04	0,01	0,01
35	7,87E+02	2,70E+07	3,68E+06	0	0
36	7,87E+02	1,17E+05	6,22E+04	0,01	0,01
37	7,87E+02	2,49E+05	1,10E+05	0	0,01
38	7,87E+02	3,09E+05	1,29E+05	0	0,01
39	7,87E+02	8,47E+04	4,88E+04	0,01	0,02
40	7,87E+02	3,67E+05	1,47E+05	0	0,01

41	7,87E+02	2,37E+05	1,06E+05	0	0,01
42	7,87E+02	3,36E+05	1,37E+05	0	0,01
43	7,87E+02	1,15E+05	6,15E+04	0,01	0,01
44	7,87E+02	4,65E+05	1,75E+05	0	0
45	7,87E+02	6,60E+06	1,28E+06	0	0
46	7,87E+02	3,36E+06	7,71E+05	0	0
47	7,87E+02	9,30E+06	1,65E+06	0	0
48	7,87E+02	3,28E+06	7,56E+05	0	0
49	7,87E+02	2,16E+06	5,53E+05	0	0
50	7,87E+02	6,29E+05	2,20E+05	0	0
51	7,87E+02	4,71E+06	9,94E+05	0	0
52	7,87E+02	1,24E+06	3,66E+05	0	0
53	7,87E+02	2,96E+05	1,25E+05	0	0,01
54	7,87E+02	1,60E+05	7,85E+04	0	0,01
55	7,87E+02	6,35E+05	2,21E+05	0	0
56	7,87E+02	2,31E+05	1,04E+05	0	0,01
57	7,87E+02	4,96E+05	1,84E+05	0	0
58	7,87E+02	1,72E+05	8,30E+04	0	0,01
59	7,87E+02	3,52E+05	1,42E+05	0	0,01
60	7,87E+02	1,77E+05	8,47E+04	0	0,01
61	7,87E+02	8,25E+05	2,69E+05	0	0
62	7,87E+02	8,53E+05	2,76E+05	0	0
63	7,87E+02	1,10E+06	3,33E+05	0	0
64	7,87E+02	1,08E+06	3,28E+05	0	0
65	7,87E+02	1,27E+06	3,73E+05	0	0
66	7,87E+02	9,36E+05	2,96E+05	0	0
67	7,87E+02	7,07E+05	2,39E+05	0	0
68	7,87E+02	5,07E+05	1,87E+05	0	0
69	7,87E+02	6,69E+05	2,30E+05	0	0
70	7,87E+02	1,18E+06	3,51E+05	0	0
71	7,87E+02	5,02E+05	1,85E+05	0	0
72	7,87E+02	2,07E+06	5,35E+05	0	0
73	7,87E+02	4,17E+05	1,61E+05	0	0
74	7,87E+02	2,67E+06	6,48E+05	0	0
75	7,87E+02	4,61E+05	1,74E+05	0	0
76	7,87E+02	3,59E+06	8,10E+05	0	0
77	7,87E+02	3,50E+05	1,41E+05	0	0,01
78	7,87E+02	5,56E+05	2,00E+05	0	0
79	7,87E+02	3,35E+05	1,37E+05	0	0,01
80	7,87E+02	3,92E+05	1,54E+05	0	0,01
81	7,87E+02	2,31E+05	1,03E+05	0	0,01
82	7,87E+02	5,27E+05	1,92E+05	0	0
83	7,87E+02	4,86E+05	1,81E+05	0	0
84	7,87E+02	9,92E+05	3,09E+05	0	0

85	7,87E+02	6,05E+05	2,13E+05	0	0
86	7,87E+02	1,12E+08	1,07E+07	0	0
87	7,87E+02	1,29E+06	3,77E+05	0	0
88	7,87E+02	1,58E+08	1,38E+07	0	0
89	7,87E+02	2,61E+06	6,37E+05	0	0
90	7,87E+02	8,90E+07	9,00E+06	0	0
91	7,87E+02	6,78E+06	1,31E+06	0	0
92	7,87E+02	1,56E+08	1,37E+07	0	0
93	7,87E+02	3,17E+06	7,37E+05	0	0
94	7,87E+02	1,63E+08	1,42E+07	0	0
95	7,87E+02	6,30E+06	1,24E+06	0	0
96	7,87E+02	1,26E+08	1,17E+07	0	0
97	7,87E+02	2,05E+06	5,32E+05	0	0
98	7,87E+02	1,09E+08	1,05E+07	0	0
99	7,87E+02	4,75E+06	9,99E+05	0	0
100	7,87E+02	1,44E+08	1,29E+07	0	0
101	7,87E+02	1,76E+18	4,74E+14	0	0
102	7,87E+02	1,79E+18	4,80E+14	0	0
103	7,87E+02	1,76E+18	4,75E+14	0	0
104	7,87E+02	1,78E+18	4,80E+14	0	0
105	7,87E+02	2,31E+10	2,08E+08	0	0
106	7,87E+02	1,32E+10	1,37E+08	0	0
107	7,87E+02	1,22E+10	1,29E+08	0	0
108	7,87E+02	2,75E+10	2,37E+08	0	0
109	7,87E+02	6,90E+07	5,00E+06	0	0
110	7,87E+02	1,45E+07	1,56E+06	0	0
111	7,87E+02	2,32E+07	2,21E+06	0	0
112	7,87E+02	3,28E+07	2,86E+06	0	0

Tabla AII 26. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 0° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	1,63E+04	1,28E+04	0,05	0,06
2	7,87E+02	2,47E+04	1,75E+04	0,03	0,05
3	7,87E+02	2,62E+04	1,83E+04	0,03	0,04
4	7,87E+02	1,11E+05	5,41E+04	0,01	0,01
5	7,87E+02	1,69E+04	1,31E+04	0,05	0,06
6	7,87E+02	1,63E+04	1,28E+04	0,05	0,06
7	7,87E+02	1,74E+04	1,35E+04	0,05	0,06
8	7,87E+02	6,68E+04	3,69E+04	0,01	0,02
9	7,87E+02	1,33E+04	1,10E+04	0,06	0,07
10	7,87E+02	1,74E+04	1,35E+04	0,05	0,06
11	7,87E+02	1,83E+04	1,39E+04	0,04	0,06
12	7,87E+02	6,83E+04	3,75E+04	0,01	0,02
13	7,87E+02	9,72E+03	8,68E+03	0,08	0,09
14	7,87E+02	1,85E+04	1,41E+04	0,04	0,06
15	7,87E+02	2,20E+04	1,60E+04	0,04	0,05
16	7,87E+02	1,00E+05	5,00E+04	0,01	0,02
17	7,87E+02	2,42E+05	1,06E+05	0	0,01
18	7,87E+02	8,95E+04	5,08E+04	0,01	0,02
19	7,87E+02	6,70E+04	4,09E+04	0,01	0,02
20	7,87E+02	4,84E+04	3,20E+04	0,02	0,02
21	7,87E+02	1,16E+05	6,11E+04	0,01	0,01
22	7,87E+02	4,16E+04	2,86E+04	0,02	0,03
23	7,87E+02	3,05E+04	2,27E+04	0,03	0,03
24	7,87E+02	2,54E+04	1,98E+04	0,03	0,04
25	7,87E+02	1,17E+05	6,15E+04	0,01	0,01
26	7,87E+02	4,35E+04	2,96E+04	0,02	0,03
27	7,87E+02	3,25E+04	2,38E+04	0,02	0,03
28	7,87E+02	2,24E+04	1,80E+04	0,04	0,04
29	7,87E+02	2,33E+05	1,03E+05	0	0,01
30	7,87E+02	8,62E+04	4,94E+04	0,01	0,02
31	7,87E+02	6,72E+04	4,10E+04	0,01	0,02
32	7,87E+02	4,48E+04	3,03E+04	0,02	0,03
33	7,87E+02	1,56E+06	4,33E+05	0	0
34	7,87E+02	5,16E+07	5,98E+06	0	0
35	7,87E+02	1,77E+06	4,77E+05	0	0
36	7,87E+02	1,41E+07	2,26E+06	0	0
37	7,87E+02	9,45E+06	1,67E+06	0	0
38	7,87E+02	2,83E+06	6,77E+05	0	0
39	7,87E+02	9,55E+06	1,69E+06	0	0
40	7,87E+02	2,66E+06	6,47E+05	0	0

41	7,87E+02	8,27E+06	1,52E+06	0	0
42	7,87E+02	1,49E+06	4,19E+05	0	0
43	7,87E+02	1,18E+07	1,98E+06	0	0
44	7,87E+02	1,96E+06	5,14E+05	0	0
45	7,87E+02	2,31E+06	5,82E+05	0	0
46	7,87E+02	4,23E+06	9,16E+05	0	0
47	7,87E+02	1,14E+06	3,42E+05	0	0
48	7,87E+02	5,05E+06	1,05E+06	0	0
49	7,87E+02	1,28E+06	3,74E+05	0	0
50	7,87E+02	3,72E+06	8,33E+05	0	0
51	7,87E+02	1,25E+06	3,68E+05	0	0
52	7,87E+02	4,83E+06	1,01E+06	0	0
53	7,87E+02	1,32E+07	2,15E+06	0	0
54	7,87E+02	1,39E+07	2,24E+06	0	0
55	7,87E+02	1,40E+07	2,25E+06	0	0
56	7,87E+02	1,36E+07	2,21E+06	0	0
57	7,87E+02	7,59E+06	1,42E+06	0	0
58	7,87E+02	7,76E+06	1,44E+06	0	0
59	7,87E+02	5,86E+06	1,17E+06	0	0
60	7,87E+02	9,15E+06	1,63E+06	0	0
61	7,87E+02	6,81E+06	1,31E+06	0	0
62	7,87E+02	2,67E+06	6,49E+05	0	0
63	7,87E+02	7,15E+06	1,36E+06	0	0
64	7,87E+02	3,42E+06	7,80E+05	0	0
65	7,87E+02	6,65E+06	1,29E+06	0	0
66	7,87E+02	3,03E+06	7,14E+05	0	0
67	7,87E+02	9,23E+06	1,65E+06	0	0
68	7,87E+02	3,86E+06	8,56E+05	0	0
69	7,87E+02	4,11E+06	8,97E+05	0	0
70	7,87E+02	2,80E+06	6,73E+05	0	0
71	7,87E+02	3,56E+06	8,05E+05	0	0
72	7,87E+02	2,67E+06	6,49E+05	0	0
73	7,87E+02	4,27E+06	9,23E+05	0	0
74	7,87E+02	1,66E+06	4,55E+05	0	0
75	7,87E+02	3,41E+06	7,79E+05	0	0
76	7,87E+02	2,43E+06	6,04E+05	0	0
77	7,87E+02	9,83E+06	1,72E+06	0	0
78	7,87E+02	9,13E+06	1,63E+06	0	0
79	7,87E+02	8,00E+06	1,48E+06	0	0
80	7,87E+02	1,14E+07	1,93E+06	0	0
81	7,87E+02	6,80E+06	1,31E+06	0	0
82	7,87E+02	7,35E+06	1,39E+06	0	0
83	7,87E+02	9,61E+06	1,70E+06	0	0
84	7,87E+02	8,56E+06	1,55E+06	0	0

85	7,87E+02	2,75E+06	6,63E+05	0	0
86	7,87E+02	1,31E+08	1,21E+07	0	0
87	7,87E+02	2,81E+06	6,74E+05	0	0
88	7,87E+02	2,73E+08	2,09E+07	0	0
89	7,87E+02	1,10E+06	3,33E+05	0	0
90	7,87E+02	8,39E+07	8,61E+06	0	0
91	7,87E+02	1,68E+06	4,58E+05	0	0
92	7,87E+02	2,27E+08	1,82E+07	0	0
93	7,87E+02	6,41E+06	1,25E+06	0	0
94	7,87E+02	7,31E+07	7,77E+06	0	0
95	7,87E+02	7,16E+06	1,36E+06	0	0
96	7,87E+02	6,90E+07	7,44E+06	0	0
97	7,87E+02	3,50E+06	7,95E+05	0	0
98	7,87E+02	4,04E+07	4,98E+06	0	0
99	7,87E+02	5,85E+06	1,17E+06	0	0
100	7,87E+02	3,82E+07	4,78E+06	0	0
101	7,87E+02	1,53E+18	4,27E+14	0	0
102	7,87E+02	1,55E+18	4,31E+14	0	0
103	7,87E+02	1,52E+18	4,25E+14	0	0
104	7,87E+02	1,54E+18	4,30E+14	0	0
105	7,87E+02	1,64E+11	9,05E+08	0	0
106	7,87E+02	1,75E+11	9,53E+08	0	0
107	7,87E+02	2,76E+11	1,34E+09	0	0
108	7,87E+02	2,52E+11	1,25E+09	0	0
109	7,87E+02	3,68E+08	1,75E+07	0	0
110	7,87E+02	2,20E+08	1,19E+07	0	0
111	7,87E+02	2,65E+08	1,37E+07	0	0
112	7,87E+02	2,31E+08	1,24E+07	0	0

Tabla AII 27. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas alineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	5,94E+03	6,00E+03	0,13	0,13
2	7,87E+02	1,10E+04	9,55E+03	0,07	0,08
3	7,87E+02	1,17E+04	9,97E+03	0,07	0,08
4	7,87E+02	5,00E+04	2,97E+04	0,02	0,03
5	7,87E+02	5,30E+04	3,10E+04	0,01	0,03
6	7,87E+02	1,47E+05	6,64E+04	0,01	0,01
7	7,87E+02	3,54E+05	1,29E+05	0	0,01
8	7,87E+02	1,44E+06	3,68E+05	0	0
9	7,87E+02	6,41E+03	6,35E+03	0,12	0,12
10	7,87E+02	7,91E+03	7,44E+03	0,1	0,11
11	7,87E+02	7,92E+03	7,45E+03	0,1	0,11
12	7,87E+02	3,03E+04	2,04E+04	0,03	0,04
13	7,87E+02	2,48E+04	1,75E+04	0,03	0,04
14	7,87E+02	7,07E+04	3,85E+04	0,01	0,02
15	7,87E+02	2,47E+05	9,82E+04	0	0,01
16	7,87E+02	7,80E+05	2,33E+05	0	0
17	7,87E+02	1,02E+05	5,53E+04	0,01	0,01
18	7,87E+02	3,99E+04	2,77E+04	0,02	0,03
19	7,87E+02	3,16E+04	2,33E+04	0,02	0,03
20	7,87E+02	2,65E+04	2,04E+04	0,03	0,04
21	7,87E+02	3,72E+06	8,23E+05	0	0
22	7,87E+02	1,28E+06	3,75E+05	0	0
23	7,87E+02	8,19E+05	2,67E+05	0	0
24	7,87E+02	4,36E+05	1,67E+05	0	0
25	7,87E+02	4,53E+04	3,02E+04	0,02	0,03
26	7,87E+02	1,69E+04	1,45E+04	0,05	0,05
27	7,87E+02	1,27E+04	1,17E+04	0,06	0,07
28	7,87E+02	1,12E+04	1,07E+04	0,07	0,07
29	7,87E+02	2,30E+06	5,74E+05	0	0
30	7,87E+02	9,11E+05	2,90E+05	0	0
31	7,87E+02	5,50E+05	1,98E+05	0	0
32	7,87E+02	3,02E+05	1,27E+05	0	0,01
33	7,87E+02	7,28E+06	1,38E+06	0	0
34	7,87E+02	7,25E+06	1,37E+06	0	0
35	7,87E+02	4,62E+06	9,80E+05	0	0
36	7,87E+02	4,10E+06	8,94E+05	0	0
37	7,87E+02	1,43E+06	4,07E+05	0	0
38	7,87E+02	3,04E+06	7,15E+05	0	0
39	7,87E+02	6,39E+06	1,25E+06	0	0
40	7,87E+02	3,88E+06	8,59E+05	0	0

41	7,87E+02	9,16E+06	1,64E+06	0	0
42	7,87E+02	4,01E+06	8,80E+05	0	0
43	7,87E+02	4,29E+06	9,25E+05	0	0
44	7,87E+02	3,19E+06	7,41E+05	0	0
45	7,87E+02	2,63E+06	6,41E+05	0	0
46	7,87E+02	4,66E+06	9,85E+05	0	0
47	7,87E+02	4,85E+06	1,01E+06	0	0
48	7,87E+02	6,43E+06	1,25E+06	0	0
49	7,87E+02	4,10E+06	8,94E+05	0	0
50	7,87E+02	5,04E+06	1,05E+06	0	0
51	7,87E+02	3,29E+06	7,59E+05	0	0
52	7,87E+02	1,93E+06	5,09E+05	0	0
53	7,87E+02	6,77E+06	1,30E+06	0	0
54	7,87E+02	8,29E+07	8,53E+06	0	0
55	7,87E+02	1,60E+07	2,49E+06	0	0
56	7,87E+02	2,67E+06	6,49E+05	0	0
57	7,87E+02	1,97E+07	2,90E+06	0	0
58	7,87E+02	3,40E+06	7,77E+05	0	0
59	7,87E+02	8,01E+06	1,48E+06	0	0
60	7,87E+02	8,06E+07	8,35E+06	0	0
61	7,87E+02	1,22E+07	2,03E+06	0	0
62	7,87E+02	8,99E+07	9,07E+06	0	0
63	7,87E+02	2,36E+07	3,32E+06	0	0
64	7,87E+02	5,49E+06	1,11E+06	0	0
65	7,87E+02	1,28E+07	2,10E+06	0	0
66	7,87E+02	3,51E+06	7,97E+05	0	0
67	7,87E+02	6,09E+06	1,20E+06	0	0
68	7,87E+02	1,19E+08	1,12E+07	0	0
69	7,87E+02	2,41E+06	6,01E+05	0	0
70	7,87E+02	9,19E+06	1,64E+06	0	0
71	7,87E+02	6,80E+07	7,35E+06	0	0
72	7,87E+02	4,86E+06	1,02E+06	0	0
73	7,87E+02	7,35E+07	7,80E+06	0	0
74	7,87E+02	2,45E+06	6,08E+05	0	0
75	7,87E+02	4,31E+06	9,29E+05	0	0
76	7,87E+02	6,17E+06	1,22E+06	0	0
77	7,87E+02	3,80E+06	8,45E+05	0	0
78	7,87E+02	8,00E+06	1,48E+06	0	0
79	7,87E+02	3,37E+07	4,35E+06	0	0
80	7,87E+02	5,41E+06	1,10E+06	0	0
81	7,87E+02	4,66E+07	5,54E+06	0	0
82	7,87E+02	2,04E+06	5,31E+05	0	0
83	7,87E+02	5,72E+06	1,15E+06	0	0
84	7,87E+02	4,45E+06	9,52E+05	0	0

85	7,87E+02	2,73E+06	6,60E+05	0	0
86	7,87E+02	8,58E+07	8,76E+06	0	0
87	7,87E+02	6,80E+06	1,31E+06	0	0
88	7,87E+02	1,67E+08	1,45E+07	0	0
89	7,87E+02	3,99E+06	8,77E+05	0	0
90	7,87E+02	1,14E+08	1,08E+07	0	0
91	7,87E+02	1,49E+06	4,19E+05	0	0
92	7,87E+02	2,12E+08	1,73E+07	0	0
93	7,87E+02	2,67E+06	6,49E+05	0	0
94	7,87E+02	1,63E+08	1,41E+07	0	0
95	7,87E+02	6,74E+06	1,30E+06	0	0
96	7,87E+02	1,31E+08	1,21E+07	0	0
97	7,87E+02	4,67E+06	9,88E+05	0	0
98	7,87E+02	1,64E+08	1,43E+07	0	0
99	7,87E+02	1,13E+06	3,41E+05	0	0
100	7,87E+02	7,25E+07	7,72E+06	0	0
101	7,87E+02	1,58E+18	4,39E+14	0	0
102	7,87E+02	1,54E+18	4,30E+14	0	0
103	7,87E+02	1,57E+18	4,35E+14	0	0
104	7,87E+02	1,54E+18	4,29E+14	0	0
105	7,87E+02	7,80E+10	5,19E+08	0	0
106	7,87E+02	2,07E+11	1,08E+09	0	0
107	7,87E+02	3,98E+11	1,76E+09	0	0
108	7,87E+02	8,07E+10	5,33E+08	0	0
109	7,87E+02	1,33E+08	8,20E+06	0	0
110	7,87E+02	4,63E+08	2,08E+07	0	0
111	7,87E+02	1,22E+09	4,31E+07	0	0
112	7,87E+02	9,79E+07	6,50E+06	0	0

Tabla AII 28. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	1,34E+04	1,10E+04	0,06	0,07
2	7,87E+02	2,13E+04	1,57E+04	0,04	0,05
3	7,87E+02	2,03E+04	1,51E+04	0,04	0,05
4	7,87E+02	1,03E+05	5,09E+04	0,01	0,02
5	7,87E+02	1,61E+04	1,27E+04	0,05	0,06
6	7,87E+02	1,47E+04	1,18E+04	0,05	0,07
7	7,87E+02	1,64E+04	1,29E+04	0,05	0,06
8	7,87E+02	5,54E+04	3,20E+04	0,01	0,02
9	7,87E+02	1,57E+04	1,25E+04	0,05	0,06
10	7,87E+02	2,14E+04	1,57E+04	0,04	0,05
11	7,87E+02	2,21E+04	1,61E+04	0,04	0,05
12	7,87E+02	9,12E+04	4,66E+04	0,01	0,02
13	7,87E+02	1,60E+04	1,26E+04	0,05	0,06
14	7,87E+02	2,11E+04	1,55E+04	0,04	0,05
15	7,87E+02	2,36E+04	1,69E+04	0,03	0,05
16	7,87E+02	9,21E+04	4,69E+04	0,01	0,02
17	7,87E+02	2,36E+05	1,04E+05	0	0,01
18	7,87E+02	8,52E+04	4,90E+04	0,01	0,02
19	7,87E+02	7,01E+04	4,23E+04	0,01	0,02
20	7,87E+02	5,80E+04	3,67E+04	0,01	0,02
21	7,87E+02	8,73E+04	4,93E+04	0,01	0,02
22	7,87E+02	3,09E+04	2,29E+04	0,03	0,03
23	7,87E+02	2,18E+04	1,76E+04	0,04	0,04
24	7,87E+02	1,91E+04	1,60E+04	0,04	0,05
25	7,87E+02	1,68E+05	8,06E+04	0	0,01
26	7,87E+02	6,36E+04	3,93E+04	0,01	0,02
27	7,87E+02	4,70E+04	3,13E+04	0,02	0,03
28	7,87E+02	2,88E+04	2,17E+04	0,03	0,04
29	7,87E+02	1,71E+05	8,16E+04	0	0,01
30	7,87E+02	6,41E+04	3,96E+04	0,01	0,02
31	7,87E+02	4,88E+04	3,23E+04	0,02	0,02
32	7,87E+02	4,11E+04	2,84E+04	0,02	0,03
33	7,87E+02	4,21E+06	9,14E+05	0	0
34	7,87E+02	3,82E+06	8,49E+05	0	0
35	7,87E+02	4,51E+06	9,61E+05	0	0
36	7,87E+02	5,19E+06	1,07E+06	0	0
37	7,87E+02	2,13E+06	5,48E+05	0	0
38	7,87E+02	2,52E+06	6,21E+05	0	0
39	7,87E+02	3,49E+06	7,92E+05	0	0
40	7,87E+02	3,41E+06	7,79E+05	0	0

41	7,87E+02	6,06E+06	1,20E+06	0	0
42	7,87E+02	1,85E+06	4,93E+05	0	0
43	7,87E+02	2,57E+06	6,31E+05	0	0
44	7,87E+02	1,74E+06	4,72E+05	0	0
45	7,87E+02	3,49E+06	7,94E+05	0	0
46	7,87E+02	9,67E+06	1,70E+06	0	0
47	7,87E+02	4,82E+06	1,01E+06	0	0
48	7,87E+02	7,38E+06	1,39E+06	0	0
49	7,87E+02	3,03E+06	7,13E+05	0	0
50	7,87E+02	3,74E+06	8,35E+05	0	0
51	7,87E+02	2,78E+06	6,68E+05	0	0
52	7,87E+02	5,72E+06	1,15E+06	0	0
53	7,87E+02	5,83E+06	1,17E+06	0	0
54	7,87E+02	5,11E+07	5,94E+06	0	0
55	7,87E+02	1,09E+07	1,86E+06	0	0
56	7,87E+02	3,23E+06	7,49E+05	0	0
57	7,87E+02	6,48E+06	1,26E+06	0	0
58	7,87E+02	1,32E+06	3,81E+05	0	0
59	7,87E+02	4,77E+06	1,00E+06	0	0
60	7,87E+02	4,07E+07	5,00E+06	0	0
61	7,87E+02	6,05E+06	1,20E+06	0	0
62	7,87E+02	4,87E+07	5,73E+06	0	0
63	7,87E+02	1,18E+07	1,97E+06	0	0
64	7,87E+02	2,93E+06	6,96E+05	0	0
65	7,87E+02	8,88E+06	1,60E+06	0	0
66	7,87E+02	2,14E+06	5,49E+05	0	0
67	7,87E+02	6,57E+06	1,27E+06	0	0
68	7,87E+02	4,97E+07	5,81E+06	0	0
69	7,87E+02	3,69E+06	8,27E+05	0	0
70	7,87E+02	4,42E+06	9,48E+05	0	0
71	7,87E+02	2,42E+07	3,39E+06	0	0
72	7,87E+02	3,87E+06	8,57E+05	0	0
73	7,87E+02	2,87E+07	3,85E+06	0	0
74	7,87E+02	1,56E+06	4,35E+05	0	0
75	7,87E+02	1,32E+06	3,82E+05	0	0
76	7,87E+02	2,43E+06	6,04E+05	0	0
77	7,87E+02	2,75E+06	6,63E+05	0	0
78	7,87E+02	5,63E+06	1,14E+06	0	0
79	7,87E+02	1,47E+07	2,33E+06	0	0
80	7,87E+02	5,55E+06	1,12E+06	0	0
81	7,87E+02	3,39E+07	4,36E+06	0	0
82	7,87E+02	3,22E+06	7,47E+05	0	0
83	7,87E+02	2,12E+06	5,47E+05	0	0
84	7,87E+02	7,25E+06	1,37E+06	0	0

85	7,87E+02	2,84E+06	6,80E+05	0	0
86	7,87E+02	1,30E+08	1,19E+07	0	0
87	7,87E+02	2,22E+06	5,64E+05	0	0
88	7,87E+02	2,74E+08	2,09E+07	0	0
89	7,87E+02	9,12E+05	2,90E+05	0	0
90	7,87E+02	7,99E+07	8,30E+06	0	0
91	7,87E+02	2,29E+06	5,77E+05	0	0
92	7,87E+02	2,12E+08	1,73E+07	0	0
93	7,87E+02	1,20E+07	2,00E+06	0	0
94	7,87E+02	8,49E+07	8,69E+06	0	0
95	7,87E+02	4,36E+06	9,36E+05	0	0
96	7,87E+02	6,73E+07	7,30E+06	0	0
97	7,87E+02	5,08E+06	1,05E+06	0	0
98	7,87E+02	3,81E+07	4,76E+06	0	0
99	7,87E+02	9,10E+06	1,63E+06	0	0
100	7,87E+02	4,24E+07	5,16E+06	0	0
101	7,87E+02	1,50E+18	4,20E+14	0	0
102	7,87E+02	1,52E+18	4,24E+14	0	0
103	7,87E+02	1,51E+18	4,24E+14	0	0
104	7,87E+02	1,56E+18	4,34E+14	0	0
105	7,87E+02	1,36E+11	7,87E+08	0	0
106	7,87E+02	2,01E+11	1,06E+09	0	0
107	7,87E+02	3,53E+11	1,61E+09	0	0
108	7,87E+02	1,62E+11	8,99E+08	0	0
109	7,87E+02	3,23E+08	1,59E+07	0	0
110	7,87E+02	2,93E+08	1,48E+07	0	0
111	7,87E+02	2,47E+08	1,30E+07	0	0
112	7,87E+02	3,13E+08	1,55E+07	0	0

Tabla AII 29. Caso E3 jacket OC4 optimizada, con cargas desalineadas a 90° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	1,52E+04	1,21E+04	0,05	0,06
2	7,87E+02	2,44E+04	1,73E+04	0,03	0,05
3	7,87E+02	2,56E+04	1,79E+04	0,03	0,04
4	7,87E+02	1,11E+05	5,39E+04	0,01	0,01
5	7,87E+02	1,41E+04	1,15E+04	0,06	0,07
6	7,87E+02	1,49E+04	1,20E+04	0,05	0,07
7	7,87E+02	1,51E+04	1,21E+04	0,05	0,07
8	7,87E+02	5,63E+04	3,24E+04	0,01	0,02
9	7,87E+02	2,19E+04	1,59E+04	0,04	0,05
10	7,87E+02	2,50E+04	1,77E+04	0,03	0,04
11	7,87E+02	2,63E+04	1,83E+04	0,03	0,04
12	7,87E+02	1,10E+05	5,34E+04	0,01	0,01
13	7,87E+02	6,49E+03	6,41E+03	0,12	0,12
14	7,87E+02	1,29E+04	1,07E+04	0,06	0,07
15	7,87E+02	1,33E+04	1,10E+04	0,06	0,07
16	7,87E+02	5,70E+04	3,27E+04	0,01	0,02
17	7,87E+02	2,36E+05	1,04E+05	0	0,01
18	7,87E+02	8,44E+04	4,86E+04	0,01	0,02
19	7,87E+02	6,79E+04	4,13E+04	0,01	0,02
20	7,87E+02	5,48E+04	3,52E+04	0,01	0,02
21	7,87E+02	8,09E+04	4,66E+04	0,01	0,02
22	7,87E+02	2,77E+04	2,11E+04	0,03	0,04
23	7,87E+02	1,85E+04	1,56E+04	0,04	0,05
24	7,87E+02	1,66E+04	1,44E+04	0,05	0,05
25	7,87E+02	1,93E+05	8,95E+04	0	0,01
26	7,87E+02	7,04E+04	4,25E+04	0,01	0,02
27	7,87E+02	5,03E+04	3,30E+04	0,02	0,02
28	7,87E+02	2,89E+04	2,18E+04	0,03	0,04
29	7,87E+02	1,09E+05	5,83E+04	0,01	0,01
30	7,87E+02	4,16E+04	2,86E+04	0,02	0,03
31	7,87E+02	3,83E+04	2,69E+04	0,02	0,03
32	7,87E+02	3,61E+04	2,57E+04	0,02	0,03
33	7,87E+02	3,50E+07	4,47E+06	0	0
34	7,87E+02	1,50E+06	4,21E+05	0	0
35	7,87E+02	2,51E+07	3,48E+06	0	0
36	7,87E+02	1,54E+06	4,28E+05	0	0
37	7,87E+02	1,41E+06	4,02E+05	0	0
38	7,87E+02	2,70E+06	6,54E+05	0	0
39	7,87E+02	8,55E+05	2,76E+05	0	0
40	7,87E+02	2,49E+06	6,16E+05	0	0

41	7,87E+02	3,62E+06	8,15E+05	0	0
42	7,87E+02	2,08E+06	5,38E+05	0	0
43	7,87E+02	1,48E+06	4,18E+05	0	0
44	7,87E+02	1,69E+06	4,60E+05	0	0
45	7,87E+02	9,08E+06	1,62E+06	0	0
46	7,87E+02	7,68E+06	1,43E+06	0	0
47	7,87E+02	7,25E+06	1,37E+06	0	0
48	7,87E+02	7,24E+06	1,37E+06	0	0
49	7,87E+02	7,28E+06	1,38E+06	0	0
50	7,87E+02	2,86E+06	6,83E+05	0	0
51	7,87E+02	4,57E+06	9,71E+05	0	0
52	7,87E+02	7,01E+06	1,34E+06	0	0
53	7,87E+02	4,15E+06	9,03E+05	0	0
54	7,87E+02	2,36E+06	5,91E+05	0	0
55	7,87E+02	6,05E+06	1,20E+06	0	0
56	7,87E+02	4,62E+06	9,79E+05	0	0
57	7,87E+02	7,13E+06	1,35E+06	0	0
58	7,87E+02	2,81E+06	6,74E+05	0	0
59	7,87E+02	5,26E+06	1,08E+06	0	0
60	7,87E+02	2,70E+06	6,54E+05	0	0
61	7,87E+02	1,50E+07	2,37E+06	0	0
62	7,87E+02	1,86E+07	2,78E+06	0	0
63	7,87E+02	1,32E+07	2,15E+06	0	0
64	7,87E+02	2,80E+07	3,78E+06	0	0
65	7,87E+02	1,35E+07	2,19E+06	0	0
66	7,87E+02	2,32E+07	3,28E+06	0	0
67	7,87E+02	1,06E+07	1,82E+06	0	0
68	7,87E+02	6,97E+06	1,33E+06	0	0
69	7,87E+02	1,31E+07	2,14E+06	0	0
70	7,87E+02	2,41E+06	6,01E+05	0	0
71	7,87E+02	6,54E+06	1,27E+06	0	0
72	7,87E+02	3,52E+06	7,98E+05	0	0
73	7,87E+02	6,90E+06	1,32E+06	0	0
74	7,87E+02	1,49E+06	4,19E+05	0	0
75	7,87E+02	6,92E+06	1,33E+06	0	0
76	7,87E+02	2,21E+06	5,63E+05	0	0
77	7,87E+02	6,12E+06	1,21E+06	0	0
78	7,87E+02	4,72E+06	9,95E+05	0	0
79	7,87E+02	4,52E+06	9,62E+05	0	0
80	7,87E+02	3,68E+06	8,26E+05	0	0
81	7,87E+02	2,19E+06	5,59E+05	0	0
82	7,87E+02	5,07E+06	1,05E+06	0	0
83	7,87E+02	6,74E+06	1,30E+06	0	0
84	7,87E+02	5,18E+06	1,07E+06	0	0

85	7,87E+02	1,96E+06	5,15E+05	0	0
86	7,87E+02	1,28E+08	1,18E+07	0	0
87	7,87E+02	1,82E+06	4,86E+05	0	0
88	7,87E+02	2,76E+08	2,10E+07	0	0
89	7,87E+02	8,64E+05	2,78E+05	0	0
90	7,87E+02	8,38E+07	8,61E+06	0	0
91	7,87E+02	2,31E+06	5,83E+05	0	0
92	7,87E+02	2,15E+08	1,74E+07	0	0
93	7,87E+02	9,73E+06	1,71E+06	0	0
94	7,87E+02	7,45E+07	7,88E+06	0	0
95	7,87E+02	3,47E+06	7,89E+05	0	0
96	7,87E+02	5,83E+07	6,56E+06	0	0
97	7,87E+02	4,05E+06	8,86E+05	0	0
98	7,87E+02	3,38E+07	4,35E+06	0	0
99	7,87E+02	8,99E+06	1,61E+06	0	0
100	7,87E+02	3,83E+07	4,78E+06	0	0
101	7,87E+02	1,51E+18	4,22E+14	0	0
102	7,87E+02	1,53E+18	4,27E+14	0	0
103	7,87E+02	1,48E+18	4,17E+14	0	0
104	7,87E+02	1,55E+18	4,31E+14	0	0
105	7,87E+02	1,52E+11	8,57E+08	0	0
106	7,87E+02	1,63E+11	9,02E+08	0	0
107	7,87E+02	1,18E+11	7,08E+08	0	0
108	7,87E+02	3,02E+11	1,43E+09	0	0
109	7,87E+02	3,34E+08	1,63E+07	0	0
110	7,87E+02	1,40E+08	8,50E+06	0	0
111	7,87E+02	2,56E+08	1,34E+07	0	0
112	7,87E+02	4,85E+08	2,16E+07	0	0

**Universidad de Las Palmas de Gran Canaria**  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES Y CIVILES  
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

# Anexo III. Resultados estructurales de la subestructura diseñada

---

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SUBESTRUCTURA TIPO JACKET  
PARA EL AEROGENERADOR MARINO NREL 5MW

Trabajo de Fin de Grado

**Autor:** Saulo Manuel Román Cabrera

**Tutores:** Luis A. Padrón Hernández y Carlos Romero Sánchez

## Índice de contenido

4.1. Resúmenes .....	1
4.1.1 Resumen de la subestructura .....	1
4.1.2 Resumen de los grupos de secciones .....	1
4.1.3 Resumen de las comprobaciones.....	2
4.2. Identificación de elementos estructurales .....	2
4.2.1 Identificación de los nodos.....	2
4.2.2 Identificación de las barras.....	4
4.3 Comprobaciones de las secciones.....	7
4.3.1 Estados Límite Último de las barras .....	7
4.3.2 Estados Límite de Fatiga de las barras .....	43

## Índice de tablas

Tabla AIII 1. Resumen de la subestructura optimizada.....	1
Tabla AIII 2. Resumen de grupos de secciones.....	1
Tabla AIII 3. Resumen de las comprobaciones realizadas.....	2
Tabla AIII 4. Identificación de los nodos.....	2
Tabla AIII 5. Identificación de las barras.....	4
Tabla AIII 6.Caso E1 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELU).....	7
Tabla AIII 7.Caso E1 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELU).....	10
Tabla AIII 8.Caso E1 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELU).....	13
Tabla AIII 9.Caso E1 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELU).....	16
Tabla AIII 10.Caso E2 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELU).....	19
Tabla AIII 11.Caso E2 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELU).....	22
Tabla AIII 12.Caso E2 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELU).....	25
Tabla AIII 13.Caso E2 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELU).....	28
Tabla AIII 14.Caso E3 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELU).....	31
Tabla AIII 15.Caso E3 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELU).....	34
Tabla AIII 16.Caso E3 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELU).....	37
Tabla AIII 17.Caso E3 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELU).....	40
Tabla AIII 18.Caso E1 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELF).....	43
Tabla AIII 19.Caso E1 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELF).....	46
Tabla AIII 20.Caso E1 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELF).....	49
Tabla AIII 21.Caso E1 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELF).....	52
Tabla AIII 22.Caso E2 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELF).....	55
Tabla AIII 23.Caso E2 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELF).....	58
Tabla AIII 24.Caso E2 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELF).....	61
Tabla AIII 25.Caso E2 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELF).....	64
Tabla AIII 26.Caso E3 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELF).....	67
Tabla AIII 27.Caso E3 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELF).....	70
Tabla AIII 28.Caso E3 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELF).....	73
Tabla AIII 29.Caso E3 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELF).....	76



4.1. Resúmenes

4.1.1 Resumen de la subestructura

Tabla AIII 1. Resumen de la subestructura optimizada

Resumen de la subestructura	
Material	VL EW36 (S355)
Número de secciones distintas	11
Altura del jacket (m)	70,15
Separación de la parte alta (m)	9,15
Separación de la base (m)	13,86
Número de pilotes	4

4.1.2 Resumen de los grupos de secciones

Tabla AIII 2. Resumen de grupos de secciones

	Couceiro		
	Diámetro (m)	Espesor (m)	Longitudes (m)
Leg 1 (L1)	0,82	45,80	20,92
Bracing 1 (B1)	0,48	15,00	22,64
Leg 2 (L2)	0,80	20,80	15,72
Bracing 2 (B2)	0,48	13,30	19,58
Leg 3 (L3)	0,79	19,50	13,32
Bracing 3 (B3)	0,48	12,70	16,99
Leg 4 (L4)	0,78	18,90	11,79
Bracing 4 (B4)	0,48	11,30	14,83
Leg 5 (L5)	0,35	8,00	4,00
Arriostamiento H. (H)	0,45	11,7	13,79
Pilotes (P)	2,08	491,0	4,50
<b>Peso total</b>	359.381 Kg		
<b>Frecuencia natural</b>	0,268 Hz		

La definición de los diferentes niveles puede visualizarse en la Figura 24 de la memoria, y comprobarse en el plano estructural, ubicado al final de este documento.

4.1.3 Resumen de las comprobaciones

Tabla AIII 3. Resumen de las comprobaciones realizadas

ELU			
Comprobaciones	Valor máximo	Valor real	¿Cumple?
Plastificación del material	308,7 MPa	303,11 MPa	Cumple
Pandeo local del elemento	308,69 MPa	166,11 MPa	Cumple
Pandeo global del elemento	1	0,57	Cumple
ELS			
Comprobaciones	Valor máximo	Valor real	¿Cumple?
Giro de la plataforma	0.25°	0,243°	Cumple
Resonancia	0,212 <math>f_n</math> <math>< 0.328\text{Hz}</math>	0,268 Hz	Cumple
ELF			
Comprobaciones (barras)	Valor máximo (Resiste)	Valor real (Recibe)	¿Cumple?
Número de ciclos a 1 año	9,79e+04	1,74e+02	Cumple
Número de ciclos a 50 años	9,79e+04	7,87e+02	Cumple
Comprobaciones (uniones)	Valor máximo (Resiste)	Valor real (Recibe)	¿Cumple?
Número de ciclos a 1 año	3,96e+04	1,74e+02	Cumple
Número de ciclos a 50 años	3,96e+04	7,87e+02	Cumple

4.2. Identificación de elementos estructurales

4.2.1 Identificación de los nodos

Los valores negativos corresponden a los elementos sumergidos en el agua, tomándose como cota cero la superficie del agua (Véase el plano estructural).

Tabla AIII 4. Identificación de los nodos

ID Nodo	Coordenadas (m)		
	Eje X	Eje Y	Eje Z
1	6,93	6,93	-45,00
2	6,93	6,93	-45,00
3	6,89	6,89	-44,00
4	6,85	6,85	-43,12
5	6,14	6,14	-24,61
6	-6,93	6,93	-45,00
7	-6,93	6,93	-45,00
8	-6,89	6,89	-44,00
9	-6,85	6,85	-43,12
10	-6,14	6,14	-24,61
11	-6,93	-6,93	-45,00
12	-6,93	-6,93	-45,00
13	-6,89	-6,89	-44,00
14	-6,85	-6,85	-43,12
15	-6,14	-6,14	-24,61

16	6,93	-6,93	-45,00
17	6,93	-6,93	-45,00
18	6,89	-6,89	-44,00
19	6,85	-6,85	-43,12
20	6,14	-6,14	-24,61
21	5,54	5,54	-8,922
22	5,02	5,02	4,378
23	4,59	4,59	15,65
24	4,57	4,57	16,15
25	-5,54	5,54	-8,922
26	-5,02	5,02	4,378
27	-4,59	4,59	15,65
28	-4,57	4,57	16,15
29	-5,54	-5,54	-8,922
30	-5,02	-5,02	4,378
31	-4,59	-4,59	15,65
32	-4,57	-4,57	16,15
33	5,54	-5,54	-8,922
34	5,02	-5,02	4,378
35	4,59	-4,59	15,65
36	4,57	-4,57	16,15
37	6,48	0	-33,37
38	-6,48	0	-33,37
39	0	6,48	-33,37
40	0	-6,48	-33,37
41	5,82	0	-16,37
42	-5,82	0	-16,37
43	0	5,82	-16,37
44	0	-5,82	-16,37
45	5,27	0	-1,95
46	-5,27	0	-1,95
47	0	5,27	-1,95
48	0	-5,27	-1,95
49	4,80	0	10,26
50	-4,80	0	10,26
51	0	4,80	10,26
52	0	-4,80	10,26
53	4,57	4,57	20,15
54	-4,57	4,57	20,15
55	4,57	-4,57	20,15
56	-4,57	-4,57	20,15
57	6,93	-6,93	-49,5
58	6,93	6,93	-49,5
59	-6,93	-6,93	-49,5

60	-6,93	6,93	-49,5
61	6,93	-6,93	-50,00
62	6,93	6,93	-50,00
63	-6,93	-6,93	-50,00
64	-6,93	6,93	-50,00

4.2.2 Identificación de las barras

Tabla AIII 5. Identificación de las barras

ID Barra	Nodo 1	Nodo 2	ID Sección	Diámetro (m)	Espesor (mm)	Longitud (m)
1	1	2	L1	0,83	46,00	0,50
2	2	3	L1	0,83	46,00	1,00
3	3	4	L1	0,83	46,00	0,88
4	4	5	L1	0,83	46,00	18,54
5	6	7	L1	0,83	46,00	0,50
6	7	8	L1	0,83	46,00	1,00
7	8	9	L1	0,83	46,00	0,88
8	9	10	L1	0,83	46,00	18,54
9	11	12	L1	0,83	46,00	0,50
10	12	13	L1	0,83	46,00	1,00
11	13	14	L1	0,83	46,00	0,88
12	14	15	L1	0,83	46,00	18,54
13	16	17	L1	0,83	46,00	0,50
14	17	18	L1	0,83	46,00	1,00
15	18	19	L1	0,83	46,00	0,88
16	19	20	L1	0,83	46,00	18,54
17	5	21	L2	0,80	19,00	15,72
18	21	22	L3	0,79	18,00	13,32
19	22	23	L4	0,78	17,00	11,29
20	23	24	L4	0,78	17,00	0,50
21	10	25	L2	0,80	19,00	15,72
22	25	26	L3	0,79	18,00	13,32
23	26	27	L4	0,78	17,00	11,29
24	27	28	L4	0,78	17,00	0,50
25	15	29	L2	0,80	19,00	15,72
26	29	30	L3	0,79	18,00	13,32
27	30	31	L4	0,78	17,00	11,29
28	31	32	L4	0,78	17,00	0,50
29	20	33	L2	0,80	19,00	15,72
30	33	34	L3	0,79	18,00	13,32
31	34	35	L4	0,78	17,00	11,29
32	35	36	L4	0,78	17,00	0,50
33	8	3	H	0,45	11,00	13,79
34	13	8	H	0,45	11,00	13,79

35	13	18	H	0,45	11,00	13,79
36	18	3	H	0,45	11,00	13,79
37	4	37	B1	0,48	15,00	11,93
38	37	20	B1	0,48	15,00	10,71
39	19	37	B1	0,48	15,00	11,93
40	37	5	B1	0,48	15,00	10,71
41	9	38	B1	0,48	15,00	11,93
42	38	15	B1	0,48	15,00	10,71
43	14	38	B1	0,48	15,00	11,93
44	38	10	B1	0,48	15,00	10,71
45	4	39	B1	0,48	15,00	11,93
46	39	10	B1	0,48	15,00	10,71
47	9	39	B1	0,48	15,00	11,93
48	39	5	B1	0,48	15,00	10,71
49	19	40	B1	0,48	15,00	11,93
50	40	15	B1	0,48	15,00	10,71
51	14	40	B1	0,48	15,00	11,93
52	40	20	B1	0,48	15,00	10,71
53	5	41	B2	0,48	13,00	10,29
54	41	33	B2	0,48	13,00	9,29
55	20	41	B2	0,48	13,00	10,29
56	41	21	B2	0,48	13,00	9,29
57	10	42	B2	0,48	13,00	10,29
58	42	29	B2	0,48	13,00	9,29
59	15	42	B2	0,48	13,00	10,29
60	42	25	B2	0,48	13,00	9,29
61	5	43	B2	0,48	13,00	10,29
62	43	25	B2	0,48	13,00	9,29
63	10	43	B2	0,48	13,00	10,29
64	43	21	B2	0,48	13,00	9,29
65	20	44	B2	0,48	13,00	10,29
66	44	29	B2	0,48	13,00	9,29
67	15	44	B2	0,48	13,00	10,29
68	44	33	B2	0,48	13,00	9,29
69	21	45	B3	0,48	13,00	8,90
70	45	34	B3	0,48	13,00	8,09
71	33	45	B3	0,48	13,00	8,90
72	45	22	B3	0,48	13,00	8,09
73	25	46	B3	0,48	13,00	8,90
74	46	30	B3	0,48	13,00	8,09
75	29	46	B3	0,48	13,00	8,90
76	46	26	B3	0,48	13,00	8,09
77	21	47	B3	0,48	13,00	8,90
78	47	26	B3	0,48	13,00	8,09

79	25	47	B3	0,48	13,00	8,90
80	47	22	B3	0,48	13,00	8,09
81	33	48	B3	0,48	13,00	8,90
82	48	30	B3	0,48	13,00	8,09
83	29	48	B3	0,48	13,00	8,90
84	48	34	B3	0,48	13,00	8,09
85	22	49	B4	0,48	11,00	7,74
86	49	35	B4	0,48	11,00	7,09
87	34	49	B4	0,48	11,00	7,74
88	49	23	B4	0,48	11,00	7,09
89	26	50	B4	0,48	11,00	7,74
90	50	31	B4	0,48	11,00	7,09
91	30	50	B4	0,48	11,00	7,74
92	50	27	B4	0,48	11,00	7,09
93	22	51	B4	0,48	11,00	7,74
94	51	27	B4	0,48	11,00	7,09
95	26	51	B4	0,48	11,00	7,74
96	51	23	B4	0,48	11,00	7,09
97	34	52	B4	0,48	11,00	7,74
98	52	31	B4	0,48	11,00	7,09
99	30	52	B4	0,48	11,00	7,74
100	52	35	B4	0,48	11,00	7,09
101	24	53	L5	0,35	8,00	4,00
102	28	54	L5	0,35	8,00	4,00
103	32	56	L5	0,35	8,00	4,00
104	36	55	L5	0,35	8,00	4,00
105	58	1	P	2,08	491,00	4,00
106	57	16	P	2,08	491,00	4,00
107	60	6	P	2,08	491,00	4,00
108	59	11	P	2,08	491,00	4,00
109	62	58	P	2,08	60,00	0,50
110	61	57	P	2,08	60,00	0,50
111	64	60	P	2,08	60,00	0,50
112	63	59	P	2,08	60,00	0,50

4.3 Comprobaciones de las secciones

4.3.1 Estados Límite Último de las barras

Tabla AIII 6. Caso El jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	Local			Global	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
1	100,19	308,7	0,32	50,83	308,54	0,16	0,25	Cumple
2	106,2	308,7	0,34	51,7	308,08	0,17	0,26	Cumple
3	100,94	308,7	0,33	40,24	308,32	0,13	0,23	Cumple
4	75,18	308,7	0,24	70,71	308,45	0,23	0,19	Cumple
5	38,45	308,7	0,12	38,58	308,68	0,12	0,11	Cumple
6	52,85	308,7	0,17	42,97	308,62	0,14	0,13	Cumple
7	48,97	308,7	0,16	43,21	308,68	0,14	0,1	Cumple
8	31,58	308,7	0,1	24,32	308,49	0,08	0,04	Cumple
9	38,44	308,7	0,12	39,21	308,68	0,13	0,11	Cumple
10	51,47	308,7	0,17	39,24	308,61	0,13	0,13	Cumple
11	47,55	308,7	0,15	38,97	308,67	0,13	0,09	Cumple
12	30,32	308,7	0,1	22,94	308,5	0,07	0,04	Cumple
13	108,01	308,7	0,35	55,62	308,57	0,18	0,26	Cumple
14	110,54	308,7	0,36	56,02	308,17	0,18	0,25	Cumple
15	105,28	308,7	0,34	43,71	308,4	0,14	0,22	Cumple
16	78,7	308,7	0,25	73,79	308,51	0,24	0,19	Cumple
17	160,35	308,7	0,52	147,51	307,33	0,48	0,37	Cumple
18	173,93	308,7	0,56	161,99	306,53	0,53	0,43	Cumple
19	176,65	308,7	0,57	148,29	306,25	0,48	0,44	Cumple
20	192,89	308,7	0,62	136,07	306,75	0,44	0,46	Cumple
21	48,83	308,7	0,16	46,93	308,16	0,15	0,04	Cumple
22	56,29	308,7	0,18	51,28	307,66	0,17	0,06	Cumple
23	56,12	308,7	0,18	45,85	307,4	0,15	0,06	Cumple
24	71,47	308,7	0,23	43,42	308,28	0,14	0,1	Cumple
25	47,5	308,7	0,15	44,7	308,28	0,14	0,04	Cumple
26	59,11	308,7	0,19	51,44	306,91	0,17	0,06	Cumple
27	59,74	308,7	0,19	47,02	306,46	0,15	0,07	Cumple
28	73,16	308,7	0,24	45,03	308,18	0,15	0,11	Cumple
29	168,23	308,7	0,54	156,27	307,51	0,51	0,37	Cumple
30	184,46	308,7	0,6	171,72	306,98	0,56	0,44	Cumple
31	188,41	308,7	0,61	158,83	306,41	0,52	0,45	Cumple
32	208,6	308,7	0,68	146,61	306,88	0,48	0,48	Cumple
33	48,01	244,83	0,2	44,97	150,96	0,3	0,13	Cumple

34	45,69	244,83	0,19	40,49	148,61	0,27	0,13	Cumple
35	48,47	244,83	0,2	46,42	149,13	0,31	0,13	Cumple
36	42,56	244,83	0,17	43,32	147,9	0,29	0,11	Cumple
37	48,39	308,7	0,16	38,5	304,26	0,13	0,13	Cumple
38	49,78	308,7	0,16	40,13	304,25	0,13	0,13	Cumple
39	48,62	308,7	0,16	40,64	303,89	0,13	0,13	Cumple
40	50,45	308,7	0,16	39,24	303,97	0,13	0,13	Cumple
41	44,62	308,7	0,14	34,52	301,21	0,11	0,12	Cumple
42	43	308,7	0,14	31,04	306,05	0,1	0,1	Cumple
43	45,04	308,7	0,15	35,19	301,52	0,12	0,12	Cumple
44	44,53	308,7	0,14	31,3	305,52	0,1	0,11	Cumple
45	53,1	308,7	0,17	33,91	305,1	0,11	0,1	Cumple
46	43,12	308,7	0,14	37,85	307,05	0,12	0,09	Cumple
47	51,14	308,7	0,17	35,07	304,04	0,12	0,09	Cumple
48	42,84	308,7	0,14	35,9	306,47	0,12	0,08	Cumple
49	56,53	308,7	0,18	27,55	302,9	0,09	0,1	Cumple
50	45,82	308,7	0,15	32,25	306,1	0,11	0,09	Cumple
51	44,57	308,7	0,14	38,23	303,66	0,13	0,09	Cumple
52	40,66	308,7	0,13	40,61	307,09	0,13	0,08	Cumple
53	52,81	294,99	0,18	23,31	278,68	0,08	0,15	Cumple
54	57,9	295,82	0,2	26,34	280,04	0,09	0,15	Cumple
55	51,69	298,46	0,17	28,25	284,25	0,1	0,15	Cumple
56	48,53	304,63	0,16	34,21	293,64	0,12	0,13	Cumple
57	39,99	305,65	0,13	23,77	295,12	0,08	0,1	Cumple
58	32,33	300,07	0,11	31,96	286,76	0,11	0,09	Cumple
59	43,13	305,37	0,14	20,01	294,72	0,07	0,1	Cumple
60	40,01	299,19	0,13	21,79	285,4	0,08	0,09	Cumple
61	56,9	308,7	0,18	34,53	304,66	0,11	0,09	Cumple
62	45,26	308,7	0,15	30,04	303,64	0,1	0,08	Cumple
63	47,55	308,7	0,15	34,69	302,08	0,11	0,06	Cumple
64	61,78	308,7	0,2	28,47	302,08	0,09	0,1	Cumple
65	64,01	308,7	0,21	35,39	301,73	0,12	0,1	Cumple
66	52,56	308,7	0,17	35,88	301,48	0,12	0,09	Cumple
67	36,69	302,7	0,12	22,8	290,77	0,08	0,06	Cumple
68	50,84	308,7	0,16	36,61	302,12	0,12	0,1	Cumple
69	52,1	308,7	0,17	50,05	303,88	0,16	0,16	Cumple
70	64,96	308,7	0,21	64,96	301,85	0,22	0,2	Cumple
71	65,73	308,7	0,21	65,73	304,92	0,22	0,17	Cumple
72	74,27	308,7	0,24	74,31	303,89	0,24	0,2	Cumple
73	38,05	308,7	0,12	37,63	303,31	0,12	0,12	Cumple
74	43,22	308,7	0,14	43,22	300,13	0,14	0,12	Cumple

75	41,66	308,7	0,13	29,05	300,08	0,1	0,12	Cumple
76	39,88	301,73	0,13	28,16	289,31	0,1	0,11	Cumple
77	44,53	308,7	0,14	43,95	303,78	0,14	0,14	Cumple
78	43,75	308,7	0,14	43,21	304,4	0,14	0,1	Cumple
79	37,97	299,17	0,13	31,62	285,37	0,11	0,09	Cumple
80	51,72	308,7	0,17	51,9	306,16	0,17	0,15	Cumple
81	52,61	305,43	0,17	39,88	294,81	0,14	0,13	Cumple
82	41,49	308,7	0,13	38,53	300,43	0,13	0,12	Cumple
83	38	307,56	0,12	37,24	297,86	0,13	0,1	Cumple
84	60,57	308,7	0,2	60,67	306,58	0,2	0,16	Cumple
85	73,5	300,91	0,24	32,64	288,06	0,11	0,17	Cumple
86	39,88	308,7	0,13	31,2	306,61	0,1	0,05	Cumple
87	71,99	297,15	0,24	39,61	282,18	0,14	0,17	Cumple
88	33,85	308,7	0,11	24,4	306,29	0,08	0,04	Cumple
89	25,56	308,7	0,08	18,11	301,66	0,06	0,05	Cumple
90	18,67	308,7	0,06	18,71	308,24	0,06	0,02	Cumple
91	25,3	308,7	0,08	19,65	299,61	0,07	0,05	Cumple
92	16,13	308,7	0,05	14,78	307,75	0,05	0,01	Cumple
93	55,48	308,7	0,18	39,89	302	0,13	0,13	Cumple
94	34,23	308,7	0,11	24,12	308,28	0,08	0,04	Cumple
95	41,83	308,7	0,14	28,4	302,12	0,09	0,09	Cumple
96	32,15	308,7	0,1	25,35	305,61	0,08	0,06	Cumple
97	64,75	301,28	0,21	30,41	288,63	0,11	0,14	Cumple
98	36,76	308,7	0,12	26,7	308,39	0,09	0,04	Cumple
99	40,1	308,7	0,13	31,3	304,1	0,1	0,1	Cumple
100	30,23	308,7	0,1	26,28	304,88	0,09	0,06	Cumple
101	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
105	5,69	308,7	0,02	6,41	308,69	0,02	0,02	Cumple
106	5,54	308,7	0,02	6,4	308,69	0,02	0,02	Cumple
107	4,96	308,7	0,02	4,99	308,7	0,02	0,02	Cumple
108	5,17	308,7	0,02	4,64	308,7	0,02	0,02	Cumple
109	29,53	308,7	0,1	20,58	308,54	0,07	0,07	Cumple
110	32,24	308,7	0,1	21,34	308,56	0,07	0,08	Cumple
111	18,79	308,7	0,06	19,51	308,69	0,06	0,06	Cumple
112	18,2	308,7	0,06	18,78	308,69	0,06	0,06	Cumple

Tabla AIII 7. Caso El jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	Global $\eta$	
1	121,52	308,7	0,39	65,39	308,59	0,21	0,27	Cumple
2	126,97	308,7	0,41	66,44	308,33	0,22	0,26	Cumple
3	121,93	308,7	0,39	57,13	308,48	0,19	0,24	Cumple
4	91,23	308,7	0,3	88,32	308,58	0,29	0,2	Cumple
5	58,65	308,7	0,19	25,92	308,4	0,08	0,18	Cumple
6	63,35	308,7	0,21	24,8	307,73	0,08	0,19	Cumple
7	60,58	308,7	0,2	13,69	307,31	0,04	0,16	Cumple
8	41,55	308,7	0,13	35,38	308	0,11	0,12	Cumple
9	51,6	308,7	0,17	55,67	308,69	0,18	0,11	Cumple
10	51,86	308,7	0,17	53,93	308,66	0,17	0,12	Cumple
11	55,86	308,7	0,18	56,46	308,69	0,18	0,09	Cumple
12	34,16	308,7	0,11	34,16	308,68	0,11	0,03	Cumple
13	68,75	308,7	0,22	31,12	308,4	0,1	0,19	Cumple
14	69,07	308,7	0,22	29,56	306,88	0,1	0,21	Cumple
15	66,89	308,7	0,22	15,67	306,18	0,05	0,18	Cumple
16	46,42	308,7	0,15	39,88	308,14	0,13	0,15	Cumple
17	199,13	308,7	0,65	187,73	307,79	0,61	0,41	Cumple
18	216,31	308,7	0,7	203,12	307,39	0,66	0,48	Cumple
19	219,92	308,7	0,71	190,13	307,04	0,62	0,5	Cumple
20	241,41	308,7	0,78	170,01	307,21	0,55	0,51	Cumple
21	85,83	308,7	0,28	73,3	306,24	0,24	0,21	Cumple
22	96,84	308,7	0,31	83,82	305,24	0,27	0,25	Cumple
23	94,13	308,7	0,3	74,92	304,65	0,25	0,25	Cumple
24	108,11	308,7	0,35	69,05	305,73	0,23	0,28	Cumple
25	66,27	308,7	0,21	66,28	308,6	0,21	0,04	Cumple
26	61,54	308,7	0,2	61,54	308,5	0,2	0,05	Cumple
27	56,75	308,7	0,18	56,76	308,57	0,18	0,05	Cumple
28	57,71	308,7	0,19	56,18	308,57	0,18	0,09	Cumple
29	98,7	308,7	0,32	85,3	306,45	0,28	0,26	Cumple
30	111,92	308,7	0,36	99,12	304,87	0,33	0,32	Cumple
31	110,89	308,7	0,36	90,6	303,92	0,3	0,32	Cumple
32	131,88	308,7	0,43	87,23	305,38	0,29	0,36	Cumple
33	44,87	244,83	0,18	44,33	156,74	0,28	0,12	Cumple
34	48,33	244,83	0,2	42,55	151,27	0,28	0,13	Cumple
35	48,86	244,83	0,2	42,74	153,07	0,28	0,13	Cumple
36	44,23	244,83	0,18	46,13	144,08	0,32	0,12	Cumple

37	51,62	308,7	0,17	30,4	302,09	0,1	0,13	Cumple
38	51,22	308,7	0,17	32,01	303,36	0,11	0,11	Cumple
39	41,33	308,7	0,13	40,58	303,82	0,13	0,12	Cumple
40	44,03	308,7	0,14	44,06	307,2	0,14	0,12	Cumple
41	47,74	308,7	0,15	32,05	303,75	0,11	0,11	Cumple
42	42,32	308,7	0,14	35,41	307,53	0,12	0,11	Cumple
43	49,49	308,7	0,16	31,72	302,11	0,1	0,11	Cumple
44	38,89	308,7	0,13	27,91	304,56	0,09	0,09	Cumple
45	48,95	308,7	0,16	30,76	303,74	0,1	0,12	Cumple
46	48,36	308,7	0,16	32,12	304,81	0,11	0,1	Cumple
47	45,67	308,7	0,15	36,3	303,85	0,12	0,11	Cumple
48	42,65	308,7	0,14	41,12	306,7	0,13	0,12	Cumple
49	49,99	308,7	0,16	31,95	302,44	0,11	0,11	Cumple
50	40,3	308,7	0,13	34,51	306,91	0,11	0,1	Cumple
51	44,37	308,7	0,14	31,97	301,33	0,11	0,1	Cumple
52	36,17	308,7	0,12	27,57	303,25	0,09	0,08	Cumple
53	65,46	308,7	0,21	31,4	300,96	0,1	0,14	Cumple
54	56,69	308,7	0,18	28,68	301,45	0,1	0,11	Cumple
55	45,37	308,7	0,15	27,04	299,86	0,09	0,09	Cumple
56	57,48	308,7	0,19	44,47	305,35	0,15	0,13	Cumple
57	42,31	305,79	0,14	28,34	295,33	0,1	0,08	Cumple
58	41,18	308,7	0,13	40,76	304,22	0,13	0,1	Cumple
59	48,56	308,7	0,16	23,24	302,68	0,08	0,08	Cumple
60	37,23	302,08	0,12	25,49	289,83	0,09	0,07	Cumple
61	58,09	308,7	0,19	33,45	304,03	0,11	0,12	Cumple
62	47,56	308,7	0,15	26,48	300,45	0,09	0,09	Cumple
63	48,78	304,77	0,16	29,64	293,84	0,1	0,09	Cumple
64	62,91	308,7	0,2	34,15	304,52	0,11	0,13	Cumple
65	46,68	295,09	0,16	29,19	278,86	0,1	0,08	Cumple
66	47,51	308,7	0,15	26,64	303,09	0,09	0,1	Cumple
67	40,69	308,7	0,13	26,59	302,34	0,09	0,08	Cumple
68	34,39	302,19	0,11	19,35	290	0,07	0,07	Cumple
69	49,85	308,7	0,16	49,76	300,78	0,17	0,17	Cumple
70	55,24	308,7	0,18	55,43	302,32	0,18	0,15	Cumple
71	50,37	308,7	0,16	50,19	304,17	0,16	0,11	Cumple
72	70,59	308,7	0,23	70,94	304,93	0,23	0,2	Cumple
73	34,58	306,2	0,11	31,72	295,92	0,11	0,1	Cumple
74	33,72	308,7	0,11	33,62	301,52	0,11	0,1	Cumple
75	39,59	308,66	0,13	33,99	299,43	0,11	0,11	Cumple
76	34,39	308,7	0,11	34,62	303,07	0,11	0,1	Cumple
77	53,59	308,7	0,17	53,98	305,01	0,18	0,16	Cumple

78	54,83	308,7	0,18	54,82	304,63	0,18	0,14	Cumple
79	40,91	308,7	0,13	41,7	301,54	0,14	0,11	Cumple
80	66,55	308,7	0,22	66,58	304,53	0,22	0,2	Cumple
81	40,03	297,65	0,13	32,64	282,97	0,12	0,1	Cumple
82	36,06	308,7	0,12	33,15	299,97	0,11	0,1	Cumple
83	41,82	308,7	0,14	42	302,79	0,14	0,11	Cumple
84	39,51	308,7	0,13	39,4	304,33	0,13	0,11	Cumple
85	76,92	295,08	0,26	35,76	278,84	0,13	0,19	Cumple
86	38,57	308,7	0,12	30,49	307,7	0,1	0,04	Cumple
87	57,68	299,22	0,19	36,98	285,45	0,13	0,14	Cumple
88	36,12	308,7	0,12	21,34	304,6	0,07	0,06	Cumple
89	34,06	308,7	0,11	28,24	302,65	0,09	0,08	Cumple
90	22,62	308,7	0,07	20,24	307,69	0,07	0,03	Cumple
91	25,21	308,7	0,08	25,07	305,82	0,08	0,06	Cumple
92	26,34	308,7	0,09	26,35	307,94	0,09	0,04	Cumple
93	74,56	306,74	0,24	39,22	296,7	0,13	0,17	Cumple
94	35,16	308,7	0,11	26,54	307,86	0,09	0,04	Cumple
95	58,57	308,7	0,19	31,4	301,51	0,1	0,12	Cumple
96	38,9	308,7	0,13	24,93	302,1	0,08	0,06	Cumple
97	42,91	308,7	0,14	21,96	299,71	0,07	0,08	Cumple
98	28,28	308,7	0,09	19,84	307,67	0,06	0,03	Cumple
99	28,27	308,7	0,09	23,02	305,64	0,08	0,06	Cumple
100	26,11	308,7	0,08	26,28	307	0,09	0,05	Cumple
101	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
105	5,81	308,7	0,02	7,56	308,69	0,02	0,02	Cumple
106	5,39	308,7	0,02	4,76	308,69	0,02	0,02	Cumple
107	4,99	308,7	0,02	4,63	308,69	0,02	0,02	Cumple
108	6,33	308,7	0,02	6,4	308,7	0,02	0,02	Cumple
109	36,46	308,7	0,12	23,68	308,56	0,08	0,08	Cumple
110	22,68	308,7	0,07	12,25	308,45	0,04	0,07	Cumple
111	19,7	308,7	0,06	11,27	308,49	0,04	0,07	Cumple
112	26,4	308,7	0,09	27,1	308,69	0,09	0,07	Cumple

Tabla AIII 8. Caso El jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local		Global	¿Cumple?	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$		$\eta$
1	101,2	308,7	0,33	50,9	308,55	0,16	0,25	Cumple
2	108,17	308,7	0,35	51,79	308,11	0,17	0,25	Cumple
3	102,98	308,7	0,33	41,67	308,37	0,14	0,23	Cumple
4	76,19	308,7	0,25	71,69	308,51	0,23	0,19	Cumple
5	36,57	308,7	0,12	37,3	308,68	0,12	0,1	Cumple
6	48,52	308,7	0,16	41,38	308,64	0,13	0,13	Cumple
7	45,97	308,7	0,15	39,9	308,68	0,13	0,1	Cumple
8	29	308,7	0,09	22,39	308,37	0,07	0,04	Cumple
9	45,74	308,7	0,15	38,49	308,68	0,12	0,12	Cumple
10	53,31	308,7	0,17	40,31	308,62	0,13	0,12	Cumple
11	48,73	308,7	0,16	40,3	308,68	0,13	0,1	Cumple
12	31,3	308,7	0,1	23,8	308,61	0,08	0,04	Cumple
13	96,59	308,7	0,31	53,7	308,53	0,17	0,26	Cumple
14	106,37	308,7	0,34	54,72	308,11	0,18	0,26	Cumple
15	101,74	308,7	0,33	42,55	308,29	0,14	0,23	Cumple
16	76,56	308,7	0,25	73,1	308,46	0,24	0,2	Cumple
17	162,85	308,7	0,53	149,33	307,49	0,49	0,37	Cumple
18	175,27	308,7	0,57	162,39	307,07	0,53	0,43	Cumple
19	178,1	308,7	0,58	149,51	306,43	0,49	0,44	Cumple
20	194,63	308,7	0,63	137	306,79	0,45	0,46	Cumple
21	45,36	308,7	0,15	43,96	307,91	0,14	0,04	Cumple
22	55,33	308,7	0,18	48,52	306,73	0,16	0,05	Cumple
23	54,16	308,7	0,18	44,12	307,09	0,14	0,06	Cumple
24	69,81	308,7	0,23	42,35	308,3	0,14	0,1	Cumple
25	49,17	308,7	0,16	46,4	308,52	0,15	0,04	Cumple
26	58,79	308,7	0,19	51,96	308,31	0,17	0,06	Cumple
27	57,54	308,7	0,19	46,21	307,85	0,15	0,07	Cumple
28	71,01	308,7	0,23	43,92	308,11	0,14	0,11	Cumple
29	166,19	308,7	0,54	154,35	307,39	0,5	0,38	Cumple
30	182,82	308,7	0,59	168,91	306,77	0,55	0,44	Cumple
31	188,57	308,7	0,61	159,03	306,11	0,52	0,46	Cumple
32	209,26	308,7	0,68	145,7	306,72	0,48	0,49	Cumple
33	47,13	244,83	0,19	43,41	150,77	0,29	0,13	Cumple
34	48,13	244,83	0,2	42,96	153,63	0,28	0,14	Cumple
35	47,6	244,83	0,19	44,53	149,29	0,3	0,13	Cumple
36	43,98	244,83	0,18	45,18	151,42	0,3	0,11	Cumple

37	51,63	308,7	0,17	36,76	303,51	0,12	0,13	Cumple
38	52,39	308,7	0,17	37,55	304,23	0,12	0,13	Cumple
39	46,62	308,7	0,15	43,23	304,55	0,14	0,13	Cumple
40	48,81	308,7	0,16	44,73	306,68	0,15	0,13	Cumple
41	43,29	308,7	0,14	36,21	303,71	0,12	0,12	Cumple
42	39,26	308,7	0,13	35,82	307,41	0,12	0,11	Cumple
43	51,61	308,7	0,17	32,66	301,89	0,11	0,12	Cumple
44	44,27	308,7	0,14	31,59	304,99	0,1	0,1	Cumple
45	51,67	308,7	0,17	30,76	303,8	0,1	0,1	Cumple
46	44,65	308,7	0,14	31,92	305,52	0,1	0,08	Cumple
47	47,36	308,7	0,15	34,67	303,53	0,11	0,09	Cumple
48	38,49	308,7	0,12	35,74	307,3	0,12	0,09	Cumple
49	52,61	308,7	0,17	27,09	302,17	0,09	0,11	Cumple
50	41,83	308,7	0,14	32,3	306,66	0,11	0,1	Cumple
51	41,62	308,7	0,13	33,49	301,87	0,11	0,09	Cumple
52	35,96	308,7	0,12	32,24	305,35	0,11	0,08	Cumple
53	58,37	308,7	0,19	28,61	301,27	0,09	0,14	Cumple
54	59,54	300,21	0,2	25,76	286,98	0,09	0,14	Cumple
55	56,51	308,7	0,18	30,59	300,07	0,1	0,13	Cumple
56	60,56	308,7	0,2	40,42	304,57	0,13	0,14	Cumple
57	40,54	307,23	0,13	24,19	297,4	0,08	0,1	Cumple
58	44,84	308,7	0,15	44,87	303,29	0,15	0,1	Cumple
59	48,31	308,7	0,16	26,87	302,87	0,09	0,1	Cumple
60	38,88	303,77	0,13	24,84	292,37	0,08	0,09	Cumple
61	53,79	308,7	0,17	29,54	304,76	0,1	0,1	Cumple
62	41,14	304,18	0,14	28,97	292,98	0,1	0,07	Cumple
63	37,05	307,86	0,12	27,34	298,3	0,09	0,06	Cumple
64	55,85	308,7	0,18	31,68	303,23	0,1	0,11	Cumple
65	59,17	308,7	0,19	31,39	300,12	0,1	0,11	Cumple
66	52,09	308,7	0,17	31,7	302,88	0,1	0,1	Cumple
67	39,14	308,7	0,13	19,85	300,76	0,07	0,08	Cumple
68	43,87	307,71	0,14	27,56	298,09	0,09	0,09	Cumple
69	53,02	308,7	0,17	52,99	304,45	0,17	0,16	Cumple
70	66,93	308,7	0,22	67,08	301,17	0,22	0,19	Cumple
71	59,38	308,7	0,19	59,16	304,27	0,19	0,14	Cumple
72	67,98	308,7	0,22	68,26	304,65	0,22	0,2	Cumple
73	27,51	298,03	0,09	27,54	283,57	0,1	0,08	Cumple
74	37,42	308,7	0,12	37,32	301,94	0,12	0,11	Cumple
75	43,55	303,29	0,14	32,44	291,65	0,11	0,12	Cumple
76	26,65	308,7	0,09	24,63	300,07	0,08	0,07	Cumple
77	50,16	308,7	0,16	50,46	305	0,17	0,16	Cumple

78	35,19	308,7	0,11	35,03	302,13	0,12	0,09	Cumple
79	35,89	304,24	0,12	35,05	293,06	0,12	0,09	Cumple
80	50,27	308,7	0,16	50,33	305,92	0,16	0,17	Cumple
81	49,8	307,03	0,16	42,28	297,12	0,14	0,13	Cumple
82	50,15	308,7	0,16	47,69	301,14	0,16	0,14	Cumple
83	45,57	308,7	0,15	45,06	304,46	0,15	0,13	Cumple
84	57,35	308,7	0,19	57,3	306,13	0,19	0,15	Cumple
85	78,27	304,26	0,26	34,39	293,08	0,12	0,17	Cumple
86	40,38	308,7	0,13	31,9	306,89	0,1	0,05	Cumple
87	72,7	301,14	0,24	40,62	288,41	0,14	0,16	Cumple
88	34,33	308,7	0,11	24,12	306,71	0,08	0,04	Cumple
89	24,8	308,7	0,08	24,12	299,78	0,08	0,06	Cumple
90	18,29	308,7	0,06	17,75	308,21	0,06	0,02	Cumple
91	24,7	308,7	0,08	21,35	304,29	0,07	0,06	Cumple
92	15,27	308,7	0,05	14,55	307,8	0,05	0,02	Cumple
93	55,04	308,7	0,18	31,47	305,34	0,1	0,12	Cumple
94	34,23	308,7	0,11	24,32	308,31	0,08	0,04	Cumple
95	36,66	308,7	0,12	27,19	299,61	0,09	0,08	Cumple
96	31,56	308,7	0,1	25,73	305,17	0,08	0,06	Cumple
97	64,21	298,82	0,21	30,14	284,83	0,11	0,14	Cumple
98	37,55	308,7	0,12	26,16	308,46	0,08	0,04	Cumple
99	39,21	308,7	0,13	28,69	305,39	0,09	0,09	Cumple
100	29,94	308,7	0,1	24,4	304,6	0,08	0,06	Cumple
101	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
105	5,63	308,7	0,02	6,82	308,69	0,02	0,02	Cumple
106	5,77	308,7	0,02	6,42	308,69	0,02	0,02	Cumple
107	4,55	308,7	0,01	4,4	308,7	0,01	0,02	Cumple
108	5,32	308,7	0,02	5,09	308,7	0,02	0,02	Cumple
109	29,16	308,7	0,09	20,71	308,55	0,07	0,07	Cumple
110	29,13	308,7	0,09	20,89	308,52	0,07	0,08	Cumple
111	15,88	308,7	0,05	16,49	308,69	0,05	0,06	Cumple
112	18,68	308,7	0,06	19,41	308,69	0,06	0,06	Cumple

Tabla AIII 9. Caso El jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local		Global	$\eta$	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$		$\eta$
1	97,31	308,7	0,32	51,93	308,54	0,17	0,25	Cumple
2	107,43	308,7	0,35	52,67	308,09	0,17	0,25	Cumple
3	102,23	308,7	0,33	41,51	308,35	0,13	0,23	Cumple
4	76,19	308,7	0,25	72,21	308,47	0,23	0,19	Cumple
5	45,46	308,7	0,15	41,47	308,68	0,13	0,1	Cumple
6	56,72	308,7	0,18	44,24	308,65	0,14	0,13	Cumple
7	51,45	308,7	0,17	44,14	308,68	0,14	0,1	Cumple
8	32,2	308,7	0,1	23,07	308,51	0,07	0,04	Cumple
9	46,75	308,7	0,15	32,74	308,68	0,11	0,12	Cumple
10	51,47	308,7	0,17	41,34	308,62	0,13	0,13	Cumple
11	47,94	308,7	0,16	40,64	308,68	0,13	0,1	Cumple
12	30,8	308,7	0,1	23,96	308,48	0,08	0,04	Cumple
13	101,83	308,7	0,33	54,79	308,57	0,18	0,24	Cumple
14	111,58	308,7	0,36	55,67	308,23	0,18	0,25	Cumple
15	106,32	308,7	0,34	45,09	308,42	0,15	0,22	Cumple
16	79,94	308,7	0,26	76,36	308,5	0,25	0,19	Cumple
17	163,44	308,7	0,53	152,3	307,43	0,5	0,36	Cumple
18	175,96	308,7	0,57	163,01	306,94	0,53	0,42	Cumple
19	178,96	308,7	0,58	150,8	306,31	0,49	0,43	Cumple
20	195,4	308,7	0,63	137,92	306,88	0,45	0,45	Cumple
21	47,98	308,7	0,16	41,7	308,07	0,14	0,04	Cumple
22	55,94	308,7	0,18	47,72	306,69	0,16	0,06	Cumple
23	55,12	308,7	0,18	44,06	307,57	0,14	0,07	Cumple
24	66,51	308,7	0,22	43,32	308,27	0,14	0,1	Cumple
25	51,33	308,7	0,17	48,06	308,21	0,16	0,04	Cumple
26	62,17	308,7	0,2	55,1	307,49	0,18	0,06	Cumple
27	61,16	308,7	0,2	49,55	307,04	0,16	0,07	Cumple
28	74,95	308,7	0,24	45,97	308,11	0,15	0,12	Cumple
29	171,92	308,7	0,56	159,74	307,46	0,52	0,39	Cumple
30	185,98	308,7	0,6	171,82	306,81	0,56	0,45	Cumple
31	192,69	308,7	0,62	162,38	306,17	0,53	0,46	Cumple
32	212,35	308,7	0,69	148,5	306,81	0,48	0,49	Cumple
33	45,44	244,83	0,19	40,9	147,01	0,28	0,12	Cumple
34	49,63	244,83	0,2	43,23	158,34	0,27	0,14	Cumple
35	44,93	244,83	0,18	43,17	145,95	0,3	0,12	Cumple
36	44,35	244,83	0,18	45,7	161	0,28	0,12	Cumple

37	51,72	308,7	0,17	35,49	303,36	0,12	0,13	Cumple
38	51,95	308,7	0,17	41,31	306,09	0,13	0,12	Cumple
39	48,32	308,7	0,16	43,11	304,77	0,14	0,13	Cumple
40	46,87	308,7	0,15	43,56	306,55	0,14	0,13	Cumple
41	49,19	308,7	0,16	39,62	304,9	0,13	0,13	Cumple
42	44,89	308,7	0,15	39,25	307,23	0,13	0,1	Cumple
43	53,99	308,7	0,17	38,67	303,22	0,13	0,12	Cumple
44	45,23	308,7	0,15	37,5	306,23	0,12	0,12	Cumple
45	46,13	307,49	0,15	25,32	297,77	0,09	0,11	Cumple
46	41,62	308,7	0,13	26,85	304,93	0,09	0,09	Cumple
47	39,25	308,7	0,13	29,36	300	0,1	0,09	Cumple
48	35,07	308,7	0,11	29,37	304,72	0,1	0,09	Cumple
49	45,4	305,49	0,15	22,85	294,89	0,08	0,12	Cumple
50	44,98	308,7	0,15	27,15	303,62	0,09	0,1	Cumple
51	37,28	307,01	0,12	30,61	297,09	0,1	0,09	Cumple
52	33,15	308,7	0,11	30,77	304,74	0,1	0,09	Cumple
53	62,62	308,7	0,2	32,96	303,67	0,11	0,13	Cumple
54	65,11	308,7	0,21	29,22	300,85	0,1	0,14	Cumple
55	61,98	308,7	0,2	31,56	303,22	0,1	0,13	Cumple
56	58,45	308,7	0,19	35,63	300,31	0,12	0,14	Cumple
57	40,02	308,7	0,13	26,09	299,64	0,09	0,09	Cumple
58	36,97	308,7	0,12	36,8	304,37	0,12	0,09	Cumple
59	47,16	308,7	0,15	31,83	303,4	0,1	0,09	Cumple
60	46,34	308,7	0,15	30,5	301	0,1	0,11	Cumple
61	48,95	308,7	0,16	27,8	299,81	0,09	0,11	Cumple
62	39,25	302,13	0,13	25,98	289,91	0,09	0,08	Cumple
63	38,12	295,94	0,13	23,13	280,24	0,08	0,08	Cumple
64	44	301,26	0,15	26,13	288,6	0,09	0,09	Cumple
65	53,04	308,43	0,17	27,27	299,11	0,09	0,12	Cumple
66	46,76	296,17	0,16	27,05	280,6	0,1	0,1	Cumple
67	34,49	307,39	0,11	22,72	297,63	0,08	0,08	Cumple
68	37,56	305,85	0,12	31,37	295,41	0,11	0,09	Cumple
69	47,58	308,7	0,15	47,96	300,8	0,16	0,14	Cumple
70	68,1	308,7	0,22	68,33	302,44	0,23	0,19	Cumple
71	59,31	308,7	0,19	59,15	303,29	0,2	0,15	Cumple
72	68,14	308,7	0,22	68,38	304,86	0,22	0,19	Cumple
73	30,81	294,4	0,1	30,79	277,73	0,11	0,09	Cumple
74	34,5	308,7	0,11	33,82	303,85	0,11	0,08	Cumple
75	39,69	285,74	0,14	24,78	262,72	0,09	0,09	Cumple
76	23,98	308,7	0,08	24,28	303,69	0,08	0,07	Cumple
77	54,71	308,7	0,18	54,68	303,83	0,18	0,16	Cumple

78	42,05	308,7	0,14	41,95	300,13	0,14	0,11	Cumple
79	39,8	308,7	0,13	40,8	304,27	0,13	0,11	Cumple
80	54,35	308,7	0,18	53,1	303,78	0,17	0,18	Cumple
81	51,42	305,29	0,17	43,82	294,6	0,15	0,16	Cumple
82	51,84	305,76	0,17	42,96	295,28	0,15	0,15	Cumple
83	47,7	308,7	0,15	48,26	305,32	0,16	0,13	Cumple
84	61,57	308,7	0,2	61,57	305,55	0,2	0,17	Cumple
85	81,56	296,63	0,27	34,14	281,35	0,12	0,18	Cumple
86	38,86	308,7	0,13	30,25	306,72	0,1	0,05	Cumple
87	71,52	300,63	0,24	42,37	287,62	0,15	0,17	Cumple
88	33,17	308,7	0,11	24,34	306,58	0,08	0,04	Cumple
89	26,92	308,7	0,09	26,98	301,91	0,09	0,07	Cumple
90	18,89	308,7	0,06	18,36	308,23	0,06	0,02	Cumple
91	27,39	308,7	0,09	23,81	301,31	0,08	0,07	Cumple
92	15,94	308,7	0,05	14,96	307,78	0,05	0,02	Cumple
93	55,3	308,7	0,18	31,72	300,85	0,11	0,12	Cumple
94	34,18	308,7	0,11	24,25	308,31	0,08	0,04	Cumple
95	37,18	308,7	0,12	26,41	299,78	0,09	0,07	Cumple
96	33,09	308,7	0,11	25,94	305,63	0,08	0,06	Cumple
97	64,04	302,4	0,21	28,78	290,32	0,1	0,13	Cumple
98	36,99	308,7	0,12	26,24	308,43	0,09	0,04	Cumple
99	37,99	308,7	0,12	27,82	302,12	0,09	0,08	Cumple
100	29,45	308,7	0,1	25,75	304,57	0,08	0,06	Cumple
101	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	4,41	308,69	0,01	0	Cumple
105	5,59	308,7	0,02	6,67	308,69	0,02	0,02	Cumple
106	5,83	308,7	0,02	6,92	308,69	0,02	0,02	Cumple
107	5,02	308,7	0,02	5,08	308,7	0,02	0,02	Cumple
108	5,04	308,7	0,02	4,76	308,7	0,02	0,02	Cumple
109	27,57	308,7	0,09	21	308,54	0,07	0,07	Cumple
110	29,16	308,7	0,09	20,98	308,55	0,07	0,07	Cumple
111	19,22	308,7	0,06	19,85	308,69	0,06	0,07	Cumple
112	17,45	308,7	0,06	18,11	308,69	0,06	0,06	Cumple

Tabla AIII 10. Caso E2 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local		Global	¿Cumple?	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$		$\eta$
1	213,69	308,7	0,69	204,27	308,68	0,66	0,6	Cumple
2	189,69	308,7	0,61	160,11	308,45	0,52	0,44	Cumple
3	159,31	308,7	0,52	79,45	308,48	0,26	0,25	Cumple
4	99,07	308,7	0,32	80,07	308,16	0,26	0,07	Cumple
5	272,79	308,7	0,88	159,59	308,68	0,52	0,62	Cumple
6	233,21	308,7	0,76	126,89	308,57	0,41	0,49	Cumple
7	164,39	308,7	0,53	82,63	308,56	0,27	0,27	Cumple
8	86,55	308,7	0,28	62,2	307,6	0,2	0,08	Cumple
9	256,81	308,7	0,83	165,54	308,68	0,54	0,59	Cumple
10	219,9	308,7	0,71	129,49	308,53	0,42	0,47	Cumple
11	155,92	308,7	0,51	87,04	308,56	0,28	0,26	Cumple
12	80,89	308,7	0,26	57,23	307,42	0,19	0,08	Cumple
13	229,57	308,7	0,74	220,38	308,69	0,71	0,56	Cumple
14	202,08	308,7	0,65	178,09	308,59	0,58	0,42	Cumple
15	160,52	308,7	0,52	110,06	308,59	0,36	0,24	Cumple
16	103,43	308,7	0,34	86,91	308,2	0,28	0,07	Cumple
17	178,11	308,7	0,58	159,31	305,69	0,52	0,32	Cumple
18	185,9	308,7	0,6	169,45	301,21	0,56	0,49	Cumple
19	179,66	308,7	0,58	150,28	303,05	0,5	0,43	Cumple
20	200,39	308,7	0,65	139,74	307,31	0,45	0,42	Cumple
21	117,17	308,7	0,38	75,42	302,03	0,25	0,14	Cumple
22	102,75	298,32	0,34	79,08	284,04	0,28	0,18	Cumple
23	82,48	308,7	0,27	69,96	300,12	0,23	0,12	Cumple
24	96,92	308,7	0,31	67,13	308,42	0,22	0,14	Cumple
25	111,33	308,7	0,36	74,95	300	0,25	0,13	Cumple
26	101,79	293,93	0,35	71,94	276,94	0,26	0,19	Cumple
27	79,41	308,7	0,26	66,96	299,97	0,22	0,12	Cumple
28	98,26	308,7	0,32	62,7	308,17	0,2	0,14	Cumple
29	194,49	308,7	0,63	172,65	306,15	0,56	0,33	Cumple
30	199,86	308,7	0,65	185,93	303,5	0,61	0,46	Cumple
31	205,49	308,7	0,67	173,24	304,92	0,57	0,41	Cumple
32	224,81	308,7	0,73	158,43	307,59	0,52	0,42	Cumple
33	91,73	281,29	0,33	90,54	254,43	0,36	0,22	Cumple
34	64,62	244,83	0,26	67,15	157,86	0,43	0,17	Cumple
35	88,83	283,72	0,31	84,18	259,01	0,32	0,21	Cumple
36	67,67	244,83	0,28	54,55	140,99	0,39	0,17	Cumple

37	125,21	300,68	0,42	115,74	287,71	0,4	0,36	Cumple
38	115,05	282,67	0,41	107,91	257,03	0,42	0,37	Cumple
39	125,58	308,7	0,41	127,2	302,14	0,42	0,35	Cumple
40	116,05	262,36	0,44	115,16	214,61	0,54	0,41	Cumple
41	148,21	308,7	0,48	138,92	300,08	0,46	0,41	Cumple
42	138,27	284,95	0,49	129,19	261,28	0,49	0,44	Cumple
43	155,55	308,7	0,5	138,83	299,8	0,46	0,42	Cumple
44	142,64	277,33	0,51	126,24	246,69	0,51	0,45	Cumple
45	140,89	308,7	0,46	140,87	308,21	0,46	0,15	Cumple
46	195,01	308,7	0,63	194,84	307,62	0,63	0,28	Cumple
47	181,99	308,7	0,59	113,32	306,34	0,37	0,17	Cumple
48	187,42	308,7	0,61	120,43	305,51	0,39	0,21	Cumple
49	139,95	308,7	0,45	133,23	308,07	0,43	0,15	Cumple
50	187,18	308,7	0,61	187,41	307,5	0,61	0,29	Cumple
51	174,81	308,7	0,57	104,66	306,52	0,34	0,17	Cumple
52	177,59	308,7	0,58	132,42	306	0,43	0,22	Cumple
53	201,42	279,7	0,72	161,5	251,35	0,64	0,61	Cumple
54	204,59	280,46	0,73	175,89	252,82	0,7	0,65	Cumple
55	189,91	273,64	0,69	173	239,18	0,72	0,63	Cumple
56	187,99	254,99	0,74	175,79	197,5	0,89	0,7	Cumple
57	181,32	281,87	0,64	184,89	255,52	0,72	0,6	Cumple
58	195,13	282,91	0,69	200,15	257,49	0,78	0,65	Cumple
59	181,79	265,79	0,68	176,54	222,33	0,79	0,63	Cumple
60	194,63	274,13	0,71	193,67	240,2	0,81	0,68	Cumple
61	157,92	308,7	0,51	158,56	306,31	0,52	0,23	Cumple
62	208,42	308,7	0,68	207,68	303,06	0,69	0,41	Cumple
63	173,55	305,35	0,57	98,63	294,68	0,33	0,25	Cumple
64	227,61	299,64	0,76	123,76	286,09	0,43	0,46	Cumple
65	144,48	308,7	0,47	144,21	305,65	0,47	0,23	Cumple
66	207,48	308,7	0,67	208,18	301,9	0,69	0,45	Cumple
67	167,24	308,7	0,54	93,87	300,65	0,31	0,23	Cumple
68	211,82	303,94	0,7	130,48	292,61	0,45	0,42	Cumple
69	215,53	282,12	0,76	210,28	255,99	0,82	0,76	Cumple
70	180,24	279,79	0,64	174,8	251,52	0,69	0,66	Cumple
71	225,18	282,74	0,8	226,98	257,18	0,88	0,77	Cumple
72	186,05	278,55	0,67	184,81	249,1	0,74	0,66	Cumple
73	205,42	286	0,72	209,93	263,2	0,8	0,7	Cumple
74	164,35	287,64	0,57	166,73	266,14	0,63	0,55	Cumple
75	200,33	261,85	0,77	201,73	213,46	0,95	0,76	Cumple
76	162,42	267,49	0,61	161,71	226,07	0,72	0,6	Cumple
77	164,41	299,99	0,55	166,11	286,64	0,58	0,48	Cumple

78	120,88	308,7	0,39	119,35	300,61	0,4	0,36	Cumple
79	148,5	277,76	0,53	114,55	247,54	0,46	0,55	Cumple
80	91,91	294,61	0,31	70,33	278,06	0,25	0,33	Cumple
81	155	292,17	0,53	154,6	274,01	0,56	0,5	Cumple
82	108,61	308,7	0,35	109,5	299,54	0,37	0,35	Cumple
83	136,62	272,79	0,5	108,59	237,4	0,46	0,56	Cumple
84	87,93	303,18	0,29	87,36	291,49	0,3	0,33	Cumple
85	70,59	275,31	0,26	37,23	242,61	0,15	0,17	Cumple
86	39,88	308,7	0,13	31,03	306,68	0,1	0,05	Cumple
87	78,29	281,73	0,28	40,41	255,26	0,16	0,18	Cumple
88	38,23	308,7	0,12	28,56	306,67	0,09	0,04	Cumple
89	34,41	294,9	0,12	31,74	278,54	0,11	0,1	Cumple
90	22,83	308,7	0,07	22,86	306,12	0,07	0,04	Cumple
91	33,83	284,77	0,12	24,25	260,94	0,09	0,1	Cumple
92	21,07	308,7	0,07	19,84	305,77	0,06	0,04	Cumple
93	102,57	274,1	0,37	89,12	240,12	0,37	0,35	Cumple
94	37,86	308,7	0,12	30,06	307,83	0,1	0,05	Cumple
95	75,67	276,1	0,27	62,83	244,22	0,26	0,28	Cumple
96	34,43	308,7	0,11	32	305,9	0,1	0,07	Cumple
97	109,04	271,23	0,4	76,1	234,14	0,33	0,33	Cumple
98	41,33	308,7	0,13	31,34	308,05	0,1	0,05	Cumple
99	73,69	278,43	0,26	72,52	248,85	0,29	0,28	Cumple
100	33,43	308,7	0,11	30,02	306,17	0,1	0,07	Cumple
101	0,15	308,7	0	4,48	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	4,48	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	4,48	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	4,48	308,69	0,01	0	Cumple
105	15,99	308,7	0,05	16,09	308,69	0,05	0,05	Cumple
106	15,6	308,7	0,05	16,02	308,69	0,05	0,05	Cumple
107	16,81	308,7	0,05	12,47	308,69	0,04	0,04	Cumple
108	15,78	308,7	0,05	13,6	308,69	0,04	0,04	Cumple
109	73,77	308,7	0,24	75,14	308,69	0,24	0,22	Cumple
110	73,83	308,7	0,24	75,53	308,69	0,24	0,21	Cumple
111	89,34	308,7	0,29	59	308,69	0,19	0,22	Cumple
112	84,13	308,7	0,27	64,36	308,69	0,21	0,2	Cumple

Tabla AIII 11. Caso E2 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local		Global	¿Cumple?	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$		$\eta$
1	303,11	308,7	0,98	166,11	308,69	0,54	0,57	Cumple
2	264,49	308,7	0,86	127,75	308,6	0,41	0,44	Cumple
3	223,04	308,7	0,72	101,21	308,64	0,33	0,3	Cumple
4	133,22	308,7	0,43	114,02	308,68	0,37	0,08	Cumple
5	172,4	308,7	0,56	136,67	308,66	0,44	0,52	Cumple
6	144,07	308,7	0,47	110,78	308,45	0,36	0,41	Cumple
7	99,88	308,7	0,32	72,11	308,45	0,23	0,24	Cumple
8	59,94	308,7	0,19	38,95	304,47	0,13	0,16	Cumple
9	230,63	308,7	0,75	239,24	308,69	0,78	0,52	Cumple
10	189,03	308,7	0,61	187,77	308,66	0,61	0,38	Cumple
11	146,68	308,7	0,48	119,99	308,67	0,39	0,24	Cumple
12	74,35	308,7	0,24	67,11	308,68	0,22	0,07	Cumple
13	189,75	308,7	0,61	128,95	308,63	0,42	0,57	Cumple
14	156,95	308,7	0,51	97,8	308,29	0,32	0,47	Cumple
15	107,3	308,7	0,35	64,35	308,3	0,21	0,27	Cumple
16	65,01	308,7	0,21	44,79	305,5	0,15	0,19	Cumple
17	224,14	308,7	0,73	204,39	307,98	0,66	0,39	Cumple
18	229,78	308,7	0,74	218,22	307,48	0,71	0,5	Cumple
19	235,4	308,7	0,76	203,75	307,71	0,66	0,42	Cumple
20	255,82	308,7	0,83	180,68	307,81	0,59	0,46	Cumple
21	119,16	308,7	0,39	81,95	300,64	0,27	0,28	Cumple
22	123,38	297,11	0,42	91,97	282,11	0,33	0,32	Cumple
23	108,84	307,23	0,35	84,42	297,4	0,28	0,26	Cumple
24	116,35	308,7	0,38	76,99	306,38	0,25	0,29	Cumple
25	91,23	308,7	0,3	91,52	308,21	0,3	0,11	Cumple
26	79,98	308,7	0,26	79,98	307,35	0,26	0,14	Cumple
27	70,71	308,7	0,23	70,71	308,45	0,23	0,11	Cumple
28	88,71	308,7	0,29	74,57	308,55	0,24	0,12	Cumple
29	134,32	308,7	0,44	96,93	301,48	0,32	0,34	Cumple
30	143,35	303,29	0,47	107,37	291,65	0,37	0,37	Cumple
31	128,27	308,25	0,42	100,89	298,85	0,34	0,34	Cumple
32	143,52	308,7	0,46	95,16	305,78	0,31	0,36	Cumple
33	74,16	270,95	0,27	66,58	233,53	0,29	0,18	Cumple
34	73,63	251,79	0,29	69,63	189,89	0,37	0,19	Cumple
35	77,47	267,34	0,29	65,98	225,73	0,29	0,18	Cumple
36	71,3	261,21	0,27	71,23	211,99	0,34	0,19	Cumple

37	183,56	308,7	0,59	112,51	307,62	0,37	0,32	Cumple
38	141,18	308,7	0,46	81,21	303,54	0,27	0,19	Cumple
39	153,27	308,7	0,5	153,27	307,67	0,5	0,27	Cumple
40	180,73	308,7	0,59	181,62	308,21	0,59	0,39	Cumple
41	127	308,7	0,41	127,05	307,02	0,41	0,25	Cumple
42	158,58	308,7	0,51	159,22	307,92	0,52	0,35	Cumple
43	152,03	308,7	0,49	119,6	307,99	0,39	0,27	Cumple
44	113,77	308,7	0,37	83,01	304,31	0,27	0,16	Cumple
45	163,33	308,7	0,53	119,28	307,98	0,39	0,3	Cumple
46	117,42	308,7	0,38	89,81	304,07	0,3	0,17	Cumple
47	135,26	308,7	0,44	135,48	307,38	0,44	0,25	Cumple
48	158,8	308,7	0,51	159,01	307,92	0,52	0,36	Cumple
49	127,5	308,7	0,41	117,52	306,69	0,38	0,23	Cumple
50	159,39	308,7	0,52	147,99	307,91	0,48	0,32	Cumple
51	141,56	308,7	0,46	129,62	308,17	0,42	0,25	Cumple
52	100,29	308,7	0,32	93,32	304,93	0,31	0,14	Cumple
53	215,89	308,7	0,7	167,39	304,59	0,55	0,44	Cumple
54	143,89	296,83	0,48	84,93	281,66	0,3	0,25	Cumple
55	126,39	308,7	0,41	127,95	300,15	0,43	0,26	Cumple
56	219,77	308,7	0,71	220,01	306,15	0,72	0,56	Cumple
57	141,05	308,7	0,46	111,98	301,19	0,37	0,26	Cumple
58	225,22	308,7	0,73	221,32	305,75	0,72	0,55	Cumple
59	186,34	308,7	0,6	165,22	305,72	0,54	0,42	Cumple
60	121,8	295,73	0,41	89,82	279,9	0,32	0,25	Cumple
61	187,76	308,7	0,61	166,3	305,98	0,54	0,41	Cumple
62	105,82	298,4	0,35	93,11	284,16	0,33	0,21	Cumple
63	133,17	308,04	0,43	102,15	298,55	0,34	0,23	Cumple
64	215,82	308,7	0,7	187,61	304,71	0,62	0,51	Cumple
65	141,33	306,87	0,46	97,26	296,89	0,33	0,21	Cumple
66	226	308,7	0,73	197,7	305,14	0,65	0,5	Cumple
67	169	308,7	0,55	168,73	306,79	0,55	0,39	Cumple
68	100,21	297,48	0,34	89,53	282,71	0,32	0,21	Cumple
69	186,22	297	0,63	187,49	281,94	0,67	0,62	Cumple
70	81,74	287,25	0,28	85,48	265,45	0,32	0,27	Cumple
71	94,82	291,48	0,33	94,98	272,84	0,35	0,34	Cumple
72	132,95	303,52	0,44	133,58	292	0,46	0,48	Cumple
73	97,64	287,03	0,34	97,82	265,06	0,37	0,3	Cumple
74	143,48	293,51	0,49	144,12	276,25	0,52	0,46	Cumple
75	182,02	302,46	0,6	159,42	290,41	0,55	0,56	Cumple
76	72,93	284,41	0,26	75,6	260,29	0,29	0,26	Cumple
77	194,27	308,7	0,63	196,07	300,69	0,65	0,57	Cumple

78	93,52	292,25	0,32	93,1	274,14	0,34	0,25	Cumple
79	102,47	292,82	0,35	86,87	275,1	0,32	0,33	Cumple
80	130,49	298,09	0,44	117,78	283,68	0,42	0,47	Cumple
81	95,39	279,41	0,34	87,67	250,79	0,35	0,3	Cumple
82	132,18	295,77	0,45	132,62	279,96	0,47	0,45	Cumple
83	167,61	308,7	0,54	167,18	301,51	0,55	0,54	Cumple
84	89,03	287,97	0,31	88,5	266,73	0,33	0,26	Cumple
85	83,88	308,7	0,27	43	301,3	0,14	0,2	Cumple
86	43,23	308,7	0,14	35,4	307,38	0,12	0,04	Cumple
87	74,66	282,01	0,26	68,58	255,79	0,27	0,24	Cumple
88	42,29	308,7	0,14	29,65	305,99	0,1	0,07	Cumple
89	64,67	276,82	0,23	61,38	245,66	0,25	0,21	Cumple
90	31,79	308,7	0,1	27,97	308,07	0,09	0,04	Cumple
91	47,36	308,7	0,15	35,64	305,95	0,12	0,12	Cumple
92	33,48	308,7	0,11	33,49	306,15	0,11	0,05	Cumple
93	85,18	308,7	0,28	47,91	303,46	0,16	0,2	Cumple
94	44,26	308,7	0,14	33,07	307,1	0,11	0,04	Cumple
95	86,31	276,98	0,31	48,31	245,98	0,2	0,24	Cumple
96	43,53	308,7	0,14	30,61	305,24	0,1	0,07	Cumple
97	72,78	268,38	0,27	50,98	228,02	0,22	0,23	Cumple
98	32,82	308,7	0,11	26,79	308,07	0,09	0,04	Cumple
99	43,81	308,7	0,14	43,8	306,42	0,14	0,12	Cumple
100	30,68	308,7	0,1	30,8	305,85	0,1	0,06	Cumple
101	0,15	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
105	16,84	308,7	0,05	13,65	308,7	0,04	0,04	Cumple
106	13,04	308,7	0,04	9,32	308,69	0,03	0,05	Cumple
107	11,6	308,7	0,04	8,46	308,69	0,03	0,04	Cumple
108	18,68	308,7	0,06	18,91	308,7	0,06	0,05	Cumple
109	96,11	308,7	0,31	61,28	308,69	0,2	0,19	Cumple
110	62,23	308,7	0,2	44,14	308,67	0,14	0,19	Cumple
111	55,47	308,7	0,18	40,96	308,67	0,13	0,18	Cumple
112	88,3	308,7	0,29	90,31	308,69	0,29	0,22	Cumple

Tabla AIII 12. Caso E2 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local		Global	¿Cumple?	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$		$\eta$
1	266,63	308,7	0,86	241,39	308,69	0,78	0,61	Cumple
2	233,45	308,7	0,76	189,67	308,64	0,61	0,44	Cumple
3	198,77	308,7	0,64	112,97	308,64	0,37	0,26	Cumple
4	119,18	308,7	0,39	102,36	308,68	0,33	0,06	Cumple
5	197,3	308,7	0,64	176,18	308,68	0,57	0,6	Cumple
6	159,53	308,7	0,52	139,25	308,4	0,45	0,47	Cumple
7	101,41	308,7	0,33	70,23	308,4	0,23	0,23	Cumple
8	41,72	308,7	0,14	35,58	303,73	0,12	0,09	Cumple
9	301,49	308,7	0,98	200,34	308,69	0,65	0,66	Cumple
10	257,46	308,7	0,83	155,38	308,65	0,5	0,51	Cumple
11	196,77	308,7	0,64	97,98	308,64	0,32	0,31	Cumple
12	100,99	308,7	0,33	77,7	308,67	0,25	0,08	Cumple
13	225,71	308,7	0,73	153,15	308,64	0,5	0,63	Cumple
14	191,73	308,7	0,62	123,03	308,36	0,4	0,53	Cumple
15	140,25	308,7	0,45	86,68	308,41	0,28	0,31	Cumple
16	92,68	308,7	0,3	82,33	307,23	0,27	0,2	Cumple
17	203,59	308,7	0,66	164,13	307,82	0,53	0,3	Cumple
18	190,56	308,7	0,62	169,43	306,79	0,55	0,47	Cumple
19	182,73	308,7	0,59	155,27	307,1	0,51	0,43	Cumple
20	202,9	308,7	0,66	143,43	307,34	0,47	0,43	Cumple
21	74,16	304,09	0,24	68,96	292,83	0,24	0,14	Cumple
22	89,17	286,48	0,31	74,53	264,06	0,28	0,18	Cumple
23	80,75	299,72	0,27	68,69	286,22	0,24	0,12	Cumple
24	99,55	308,7	0,32	67,37	308,32	0,22	0,13	Cumple
25	130,7	308,7	0,42	84,83	307,82	0,28	0,15	Cumple
26	100,39	308,7	0,33	70,89	305,63	0,23	0,2	Cumple
27	77,02	308,7	0,25	65,41	308,1	0,21	0,13	Cumple
28	95,91	308,7	0,31	61,6	308,24	0,2	0,14	Cumple
29	198,44	308,7	0,64	177,6	305,29	0,58	0,37	Cumple
30	208,98	308,7	0,68	186,11	302,26	0,62	0,47	Cumple
31	207,26	308,7	0,67	177,23	304,26	0,58	0,42	Cumple
32	227,03	308,7	0,74	159,44	307,46	0,52	0,43	Cumple
33	85,81	265,05	0,32	74,99	220,69	0,34	0,22	Cumple
34	78,2	269,18	0,29	79,35	229,75	0,35	0,2	Cumple
35	79,36	278,25	0,29	77,69	248,5	0,31	0,19	Cumple
36	80,66	265,96	0,3	70,07	222,71	0,31	0,2	Cumple

37	160,98	308,7	0,52	161,32	308,33	0,52	0,27	Cumple
38	123,25	308,7	0,4	112,23	306,42	0,37	0,17	Cumple
39	144,63	308,7	0,47	125,48	306,62	0,41	0,23	Cumple
40	190,79	308,7	0,62	147,45	307,45	0,48	0,37	Cumple
41	173,66	308,7	0,56	173,62	308,06	0,56	0,29	Cumple
42	213,71	308,7	0,69	214,63	308,29	0,7	0,44	Cumple
43	205,59	308,7	0,67	84,95	306,61	0,28	0,35	Cumple
44	146,33	302,44	0,48	84,31	290,38	0,29	0,2	Cumple
45	161,74	308,7	0,52	162,08	308,37	0,53	0,25	Cumple
46	115,47	308,7	0,37	115,4	305,77	0,38	0,15	Cumple
47	146,79	308,7	0,48	106,95	305,52	0,35	0,21	Cumple
48	194,72	308,7	0,63	124,96	307,6	0,41	0,35	Cumple
49	158,38	308,7	0,51	158,66	307,99	0,52	0,27	Cumple
50	198,78	308,7	0,64	199,19	308,21	0,65	0,42	Cumple
51	188,95	308,7	0,61	98,49	307,65	0,32	0,32	Cumple
52	130	308,7	0,42	82,74	300,77	0,28	0,18	Cumple
53	217,48	308,7	0,7	218,56	306,95	0,71	0,53	Cumple
54	138,76	306,58	0,45	116,95	296,47	0,39	0,27	Cumple
55	164,99	300,96	0,55	114,11	288,13	0,4	0,33	Cumple
56	281,01	308,7	0,91	197,56	303,58	0,65	0,7	Cumple
57	161,59	308,7	0,52	162,61	302,66	0,54	0,29	Cumple
58	300,57	308,7	0,97	303,72	307,13	0,99	0,74	Cumple
59	243,57	308,7	0,79	140,28	301,73	0,46	0,52	Cumple
60	149,98	274,5	0,55	77,7	240,96	0,32	0,33	Cumple
61	218,42	308,7	0,71	218,93	307,24	0,71	0,5	Cumple
62	122,34	299,25	0,41	121,95	285,49	0,43	0,23	Cumple
63	153,96	291,46	0,53	87,3	272,8	0,32	0,25	Cumple
64	270,96	308,7	0,88	165,79	300,79	0,55	0,63	Cumple
65	136,74	308,7	0,44	136,48	301,08	0,45	0,25	Cumple
66	264,72	308,7	0,86	265,49	306,49	0,87	0,67	Cumple
67	228,42	308,7	0,74	142,56	304,63	0,47	0,5	Cumple
68	129,43	284,37	0,46	83,37	260,21	0,32	0,3	Cumple
69	241,19	302,77	0,8	242,64	290,88	0,83	0,77	Cumple
70	114,17	292,9	0,39	119,77	275,22	0,44	0,37	Cumple
71	131,87	291,13	0,45	111	272,23	0,41	0,45	Cumple
72	168,15	293,74	0,57	168,25	276,63	0,61	0,61	Cumple
73	132,15	298,1	0,44	132,15	283,69	0,47	0,37	Cumple
74	190,09	296,91	0,64	191,23	281,79	0,68	0,62	Cumple
75	254,02	291,37	0,87	219,2	272,64	0,8	0,82	Cumple
76	100,73	270,49	0,37	88,7	232,56	0,38	0,36	Cumple
77	244,47	308,7	0,79	246,5	300,4	0,82	0,73	Cumple

78	101,4	292,89	0,35	100,72	275,21	0,37	0,29	Cumple
79	133,24	279,87	0,48	112,49	251,67	0,45	0,43	Cumple
80	173	284,22	0,61	157,19	259,93	0,6	0,62	Cumple
81	128,74	284,29	0,45	124,73	260,07	0,48	0,4	Cumple
82	186,63	286,09	0,65	186,69	263,35	0,71	0,66	Cumple
83	231,67	308,67	0,75	233,41	299,44	0,78	0,77	Cumple
84	101,81	291,35	0,35	101,3	272,61	0,37	0,35	Cumple
85	85,2	308,7	0,28	40,79	301,98	0,14	0,2	Cumple
86	43,8	308,7	0,14	34,69	306,8	0,11	0,05	Cumple
87	85,05	273,58	0,31	71,05	239,04	0,3	0,28	Cumple
88	41,67	308,7	0,14	30,71	307,06	0,1	0,05	Cumple
89	75,24	275,98	0,27	76,63	243,97	0,31	0,25	Cumple
90	26,22	308,7	0,08	24,84	307,25	0,08	0,05	Cumple
91	49,42	308,7	0,16	36,29	304,34	0,12	0,13	Cumple
92	24,65	308,7	0,08	23,25	304,73	0,08	0,04	Cumple
93	68,31	308,7	0,22	52,13	305,91	0,17	0,19	Cumple
94	42,62	308,7	0,14	33,08	307,23	0,11	0,04	Cumple
95	78,76	268,6	0,29	61,55	228,48	0,27	0,28	Cumple
96	37,33	308,7	0,12	35,05	307,15	0,11	0,07	Cumple
97	106	260,61	0,41	72,95	210,61	0,35	0,32	Cumple
98	45,37	308,7	0,15	33,62	308,16	0,11	0,05	Cumple
99	48,34	308,7	0,16	48,39	306,12	0,16	0,16	Cumple
100	35,78	308,7	0,12	30,61	303,51	0,1	0,07	Cumple
101	0,15	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
105	18,27	308,7	0,06	18,53	308,69	0,06	0,05	Cumple
106	14,78	308,7	0,05	9,72	308,69	0,03	0,05	Cumple
107	13,68	308,7	0,04	11,98	308,69	0,04	0,04	Cumple
108	17,61	308,7	0,06	16,39	308,7	0,05	0,05	Cumple
109	84,42	308,7	0,27	86,7	308,69	0,28	0,24	Cumple
110	71,98	308,7	0,23	45,69	308,66	0,15	0,21	Cumple
111	63,77	308,7	0,21	58,71	308,69	0,19	0,2	Cumple
112	97,06	308,7	0,31	77,39	308,69	0,25	0,22	Cumple

Tabla AIII 13. Caso E2 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local		Global	$\eta$	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)			
1	232,24	308,7	0,75	208,95	308,69	0,68	0,57	Cumple
2	204,87	308,7	0,66	168,2	308,57	0,55	0,43	Cumple
3	166,3	308,7	0,54	101,01	308,58	0,33	0,25	Cumple
4	103,56	308,7	0,34	86,45	308,17	0,28	0,08	Cumple
5	241,68	308,7	0,78	243,08	308,69	0,79	0,59	Cumple
6	195,18	308,7	0,63	195,94	308,59	0,63	0,45	Cumple
7	119,47	308,7	0,39	118,71	308,58	0,38	0,24	Cumple
8	68,36	308,7	0,22	68,05	307,69	0,22	0,07	Cumple
9	261,11	308,7	0,85	162,59	308,68	0,53	0,61	Cumple
10	222,69	308,7	0,72	130,1	308,57	0,42	0,49	Cumple
11	154,79	308,7	0,5	84,43	308,57	0,27	0,27	Cumple
12	78,65	308,7	0,25	52,41	307,24	0,17	0,09	Cumple
13	302,09	308,7	0,98	125,34	308,67	0,41	0,62	Cumple
14	262,45	308,7	0,85	93,95	308,52	0,3	0,48	Cumple
15	199,71	308,7	0,65	114,87	308,59	0,37	0,28	Cumple
16	127,36	308,7	0,41	107,6	308,31	0,35	0,12	Cumple
17	187,43	308,7	0,61	163,59	305,93	0,53	0,36	Cumple
18	189,06	308,7	0,61	170,93	303,06	0,56	0,45	Cumple
19	185,97	308,7	0,6	159,5	303,06	0,53	0,42	Cumple
20	203,2	308,7	0,66	145,01	307,52	0,47	0,4	Cumple
21	100,89	308,7	0,33	99,49	304,33	0,33	0,15	Cumple
22	98,04	297,08	0,33	80,67	282,07	0,29	0,2	Cumple
23	88,86	308,7	0,29	75,13	299,54	0,25	0,15	Cumple
24	105,35	308,7	0,34	74,34	308,46	0,24	0,14	Cumple
25	114,2	308,7	0,37	77,73	302,33	0,26	0,16	Cumple
26	92,56	298,13	0,31	80,82	283,74	0,28	0,18	Cumple
27	85,89	305,17	0,28	73,11	294,42	0,25	0,15	Cumple
28	104,75	308,7	0,34	69,68	308,14	0,23	0,15	Cumple
29	234,17	308,7	0,76	193,6	306,63	0,63	0,35	Cumple
30	231,34	308,7	0,75	196,56	304,8	0,64	0,46	Cumple
31	214,97	308,7	0,7	183,01	305,79	0,6	0,38	Cumple
32	233,09	308,7	0,76	165,01	307,78	0,54	0,41	Cumple
33	72,25	244,83	0,3	57,41	140,65	0,41	0,17	Cumple
34	91,27	277,73	0,33	86,52	247,47	0,35	0,23	Cumple
35	66,58	244,83	0,27	65,14	148,36	0,44	0,17	Cumple
36	87,33	287,87	0,3	86,46	266,54	0,32	0,21	Cumple

37	141,64	308,7	0,46	136,57	308,15	0,44	0,16	Cumple
38	191,58	308,7	0,62	191,69	307,52	0,62	0,31	Cumple
39	177,22	308,7	0,57	108,64	306,47	0,35	0,19	Cumple
40	180,93	308,7	0,59	138,61	306,31	0,45	0,23	Cumple
41	142,08	308,7	0,46	142,04	308,16	0,46	0,15	Cumple
42	193,76	308,7	0,63	193,57	307,5	0,63	0,28	Cumple
43	184,82	308,7	0,6	110,41	306,19	0,36	0,19	Cumple
44	180,95	308,7	0,59	126,78	305,24	0,42	0,24	Cumple
45	115,85	308,7	0,38	117,27	301,37	0,39	0,32	Cumple
46	97	281,86	0,34	93,1	255,5	0,36	0,31	Cumple
47	110,77	308,7	0,36	107,5	302,53	0,36	0,31	Cumple
48	106,85	283,72	0,38	99,79	259	0,39	0,34	Cumple
49	146,58	303,27	0,48	124,55	291,62	0,43	0,4	Cumple
50	131,54	285,65	0,46	111,34	262,57	0,42	0,4	Cumple
51	135,93	308,7	0,44	135,2	303,36	0,45	0,39	Cumple
52	114,82	284,03	0,4	113,86	259,58	0,44	0,39	Cumple
53	159,87	308,7	0,52	160,16	305,44	0,52	0,26	Cumple
54	198,2	308,7	0,64	198,45	302,26	0,66	0,45	Cumple
55	164,88	308,29	0,53	103,98	298,91	0,35	0,27	Cumple
56	231,84	302,16	0,77	135,42	289,96	0,47	0,49	Cumple
57	158,53	308,7	0,51	158,72	306,08	0,52	0,23	Cumple
58	219,17	308,7	0,71	218,62	302,33	0,72	0,45	Cumple
59	182,25	304,76	0,6	92,62	293,82	0,32	0,25	Cumple
60	216,69	299,73	0,72	121,67	286,25	0,43	0,44	Cumple
61	175,66	280,05	0,63	155,75	252,03	0,62	0,56	Cumple
62	167,37	261,41	0,64	145,72	212,46	0,69	0,57	Cumple
63	172,87	279,28	0,62	145,78	250,53	0,58	0,52	Cumple
64	167,97	280,78	0,6	147,41	253,44	0,58	0,53	Cumple
65	169,21	273,23	0,62	151,8	238,32	0,64	0,56	Cumple
66	160,86	279,42	0,58	149,68	250,8	0,6	0,55	Cumple
67	169,83	290,13	0,59	172,37	270,51	0,64	0,54	Cumple
68	168,59	280,06	0,6	171,32	252,04	0,68	0,56	Cumple
69	164,32	287,98	0,57	165,03	266,75	0,62	0,5	Cumple
70	120,06	308,7	0,39	124,79	301,67	0,41	0,4	Cumple
71	144,45	282,49	0,51	116,74	256,69	0,45	0,56	Cumple
72	96,67	308,61	0,31	96,57	299,35	0,32	0,33	Cumple
73	161,84	299,05	0,54	162,59	285,18	0,57	0,47	Cumple
74	109,91	308,62	0,36	106,99	299,37	0,36	0,32	Cumple
75	147,76	276,91	0,53	113,01	245,85	0,46	0,52	Cumple
76	93,41	283,67	0,33	66,74	258,91	0,26	0,34	Cumple
77	203,82	281,43	0,72	205,74	254,67	0,81	0,73	Cumple

78	172,01	269,39	0,64	170,9	230,2	0,74	0,63	Cumple
79	201,76	280,91	0,72	204,29	253,7	0,81	0,71	Cumple
80	176,35	281,75	0,63	177,83	255,29	0,7	0,64	Cumple
81	194,15	257,94	0,75	193,16	204,44	0,94	0,76	Cumple
82	159,09	264,26	0,6	157,85	218,92	0,72	0,62	Cumple
83	205,21	294,46	0,7	208,67	277,82	0,75	0,64	Cumple
84	167,22	292,7	0,57	169,07	274,9	0,62	0,54	Cumple
85	120,8	270,82	0,45	72,03	233,27	0,31	0,34	Cumple
86	40,03	308,7	0,13	30,6	307,46	0,1	0,05	Cumple
87	81,03	276,72	0,29	67,77	245,46	0,28	0,28	Cumple
88	38,76	308,7	0,13	28,94	306,79	0,09	0,05	Cumple
89	79,59	277,18	0,29	78,24	246,37	0,32	0,28	Cumple
90	26,01	308,7	0,08	26,08	307,52	0,08	0,04	Cumple
91	67,95	274,29	0,25	63,75	240,52	0,27	0,25	Cumple
92	22,99	308,7	0,07	20,59	306,69	0,07	0,04	Cumple
93	60,36	281,83	0,21	36,95	255,45	0,14	0,14	Cumple
94	37,99	308,7	0,12	31,16	307,23	0,1	0,04	Cumple
95	47,05	281,66	0,17	32,95	255,12	0,13	0,13	Cumple
96	33,5	308,7	0,11	33,38	306,68	0,11	0,06	Cumple
97	66,37	279,95	0,24	33,01	251,84	0,13	0,17	Cumple
98	40,65	308,7	0,13	32,01	307,51	0,1	0,04	Cumple
99	49,13	291,84	0,17	35,06	273,45	0,13	0,11	Cumple
100	34,31	308,7	0,11	29,01	304,9	0,1	0,07	Cumple
101	0,15	308,7	0	4,48	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,15	308,7	0	4,48	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,15	308,7	0	4,48	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,15	308,7	0	4,48	308,69	0,01	0	Cumple
105	15,08	308,7	0,05	15,51	308,69	0,05	0,05	Cumple
106	18,45	308,7	0,06	11,17	308,69	0,04	0,04	Cumple
107	18,2	308,7	0,06	18,33	308,69	0,06	0,05	Cumple
108	16,2	308,7	0,05	12,74	308,69	0,04	0,04	Cumple
109	74,99	308,7	0,24	72,47	308,69	0,23	0,21	Cumple
110	100,01	308,7	0,32	50	308,69	0,16	0,22	Cumple
111	87,39	308,7	0,28	88,73	308,69	0,29	0,23	Cumple
112	85,99	308,7	0,28	60,2	308,69	0,2	0,22	Cumple

Tabla AIII 14. Caso E3 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	Global $\eta$	
1	142,04	308,7	0,46	70,23	308,67	0,23	0,28	Cumple
2	129,84	308,7	0,42	54,83	308,53	0,18	0,24	Cumple
3	121,29	308,7	0,39	59,11	308,61	0,19	0,17	Cumple
4	83,98	308,7	0,27	76,07	308,57	0,25	0,05	Cumple
5	139,83	308,7	0,45	86,32	308,68	0,28	0,32	Cumple
6	137,9	308,7	0,45	66,6	308,62	0,22	0,25	Cumple
7	132,8	308,7	0,43	63,82	308,66	0,21	0,16	Cumple
8	99,62	308,7	0,32	95,86	308,62	0,31	0,05	Cumple
9	140,66	308,7	0,46	91,9	308,68	0,3	0,28	Cumple
10	134,23	308,7	0,43	68,91	308,61	0,22	0,23	Cumple
11	129,1	308,7	0,42	63,08	308,66	0,2	0,15	Cumple
12	97,49	308,7	0,32	90,09	308,61	0,29	0,05	Cumple
13	157,6	308,7	0,51	88,91	308,68	0,29	0,28	Cumple
14	142,26	308,7	0,46	71,22	308,61	0,23	0,22	Cumple
15	126,34	308,7	0,41	62,65	308,64	0,2	0,16	Cumple
16	86,97	308,7	0,28	82,5	308,57	0,27	0,05	Cumple
17	173,79	308,7	0,56	156,89	308,33	0,51	0,07	Cumple
18	181,66	308,7	0,59	168,49	307,68	0,55	0,1	Cumple
19	179,87	308,7	0,58	151,11	308,09	0,49	0,11	Cumple
20	197,36	308,7	0,64	139,86	308,65	0,45	0,15	Cumple
21	217,53	308,7	0,7	196,9	308,47	0,64	0,07	Cumple
22	233,37	308,7	0,76	213,72	308,24	0,69	0,1	Cumple
23	232,43	308,7	0,75	193,88	308,47	0,63	0,12	Cumple
24	247,1	308,7	0,8	180,96	308,67	0,59	0,16	Cumple
25	209,79	308,7	0,68	187,67	308,41	0,61	0,08	Cumple
26	223,02	308,7	0,72	204,03	308,22	0,66	0,1	Cumple
27	224,01	308,7	0,73	185,56	308,48	0,6	0,12	Cumple
28	257,89	308,7	0,84	175,96	308,62	0,57	0,19	Cumple
29	186,7	308,7	0,6	171,68	308,36	0,56	0,08	Cumple
30	198,53	308,7	0,64	184,85	308,01	0,6	0,11	Cumple
31	197,83	308,7	0,64	167,18	308,27	0,54	0,12	Cumple
32	215,6	308,7	0,7	153,72	308,63	0,5	0,18	Cumple
33	64,33	249,93	0,26	62,66	185,43	0,34	0,18	Cumple
34	47,7	244,92	0,19	45,71	173,33	0,26	0,12	Cumple
35	62,13	259,42	0,24	56,74	207,87	0,27	0,16	Cumple
36	50,47	244,83	0,21	46,13	153,16	0,3	0,12	Cumple

37	77,72	308,7	0,25	55,11	303,38	0,18	0,2	Cumple
38	74,23	302,82	0,25	47,18	290,94	0,16	0,19	Cumple
39	64,93	308,7	0,21	65,3	306,1	0,21	0,19	Cumple
40	62,4	295,89	0,21	61,71	280,15	0,22	0,2	Cumple
41	74,38	308,7	0,24	67,41	306,01	0,22	0,2	Cumple
42	69,91	306,45	0,23	62,4	296,28	0,21	0,22	Cumple
43	81,19	308,7	0,26	64,78	305,41	0,21	0,21	Cumple
44	75,4	308,7	0,24	59,68	301,52	0,2	0,22	Cumple
45	80,19	308,7	0,26	73,64	307,27	0,24	0,13	Cumple
46	95,54	308,7	0,31	95,48	307,82	0,31	0,15	Cumple
47	99,19	308,7	0,32	57,19	304,42	0,19	0,14	Cumple
48	94,77	308,7	0,31	67,63	305,69	0,22	0,13	Cumple
49	92,71	308,7	0,3	65,57	306,61	0,21	0,14	Cumple
50	89,04	308,7	0,29	89,29	307,55	0,29	0,15	Cumple
51	90,15	308,7	0,29	65,1	306,05	0,21	0,13	Cumple
52	84,4	308,7	0,27	75,38	306,63	0,25	0,13	Cumple
53	109,32	296,63	0,37	66,32	281,34	0,24	0,29	Cumple
54	109,81	278,11	0,39	78,75	248,22	0,32	0,33	Cumple
55	95,38	283,18	0,34	81,37	257,99	0,32	0,31	Cumple
56	94,47	269,86	0,35	85,19	231,21	0,37	0,34	Cumple
57	89,64	286,17	0,31	90,82	263,49	0,34	0,31	Cumple
58	101,28	292,26	0,35	103,56	274,15	0,38	0,34	Cumple
59	98,64	290,33	0,34	78,97	270,86	0,29	0,3	Cumple
60	103,97	290,95	0,36	94,94	271,93	0,35	0,35	Cumple
61	79,34	308,7	0,26	78,03	305,34	0,26	0,15	Cumple
62	109,69	308,7	0,36	109,35	302,23	0,36	0,22	Cumple
63	100,11	298,44	0,34	61,58	284,23	0,22	0,16	Cumple
64	135,37	300,4	0,45	63,24	287,27	0,22	0,25	Cumple
65	94,08	308,7	0,3	67,74	302,98	0,22	0,15	Cumple
66	104,07	308,7	0,34	104,49	302,15	0,35	0,24	Cumple
67	90,01	305,07	0,3	49,57	294,28	0,17	0,15	Cumple
68	122,09	303,17	0,4	70,05	291,48	0,24	0,24	Cumple
69	121,54	295,28	0,41	114,8	279,17	0,41	0,42	Cumple
70	103,01	275,07	0,37	98,76	242,11	0,41	0,42	Cumple
71	131,86	304,58	0,43	133,21	293,56	0,45	0,41	Cumple
72	113,98	289,98	0,39	113,22	270,25	0,42	0,39	Cumple
73	113,59	290,34	0,39	116,08	270,88	0,43	0,4	Cumple
74	91,58	293,17	0,31	92,33	275,68	0,33	0,37	Cumple
75	108,36	303,89	0,36	109,15	292,54	0,37	0,38	Cumple
76	93,95	303,48	0,31	93,91	291,94	0,32	0,36	Cumple
77	96,87	303,02	0,32	97,86	291,25	0,34	0,27	Cumple

78	81,76	308,7	0,26	79,9	301,48	0,27	0,23	Cumple
79	84,42	272,23	0,31	68,27	236,23	0,29	0,32	Cumple
80	62,35	308,7	0,2	63,19	299,84	0,21	0,21	Cumple
81	87,16	296,43	0,29	87,25	281,03	0,31	0,28	Cumple
82	72,26	308,7	0,23	72,42	303,77	0,24	0,22	Cumple
83	78,32	275,23	0,28	66,13	242,44	0,27	0,32	Cumple
84	74,47	308,7	0,24	74,29	302,08	0,25	0,23	Cumple
85	76,29	301,62	0,25	40,47	289,14	0,14	0,16	Cumple
86	43,5	308,7	0,14	33,68	307,22	0,11	0,05	Cumple
87	77,14	290,99	0,27	43,37	271,99	0,16	0,18	Cumple
88	36,56	308,7	0,12	26,49	306,35	0,09	0,04	Cumple
89	103,71	296,97	0,35	41,68	281,89	0,15	0,21	Cumple
90	54,44	308,7	0,18	38,74	307,5	0,13	0,04	Cumple
91	81,96	294,9	0,28	52,61	278,55	0,19	0,21	Cumple
92	38,99	308,7	0,13	26,22	305,1	0,09	0,05	Cumple
93	73,33	292,86	0,25	60,32	275,17	0,22	0,22	Cumple
94	35,05	308,7	0,11	30,02	306,43	0,1	0,08	Cumple
95	65,29	295,14	0,22	33,88	278,94	0,12	0,18	Cumple
96	41,46	308,7	0,13	27,91	306,2	0,09	0,07	Cumple
97	82,78	297,97	0,28	47,05	283,49	0,17	0,21	Cumple
98	44,26	308,7	0,14	43,2	307,14	0,14	0,08	Cumple
99	72,78	302,57	0,24	43,35	290,58	0,15	0,18	Cumple
100	53,57	308,7	0,17	33,33	306,23	0,11	0,07	Cumple
101	0,16	308,7	0	4,42	308,68	0,01	0	Cumple
102	0,16	308,7	0	4,42	308,68	0,01	0	Cumple
103	0,16	308,7	0	4,42	308,68	0,01	0	Cumple
104	0,16	308,7	0	4,42	308,68	0,01	0	Cumple
105	9,07	308,7	0,03	7,1	308,7	0,02	0,03	Cumple
106	8,43	308,7	0,03	7,43	308,7	0,02	0,03	Cumple
107	7,43	308,7	0,02	7,85	308,7	0,03	0,03	Cumple
108	8,18	308,7	0,03	8,26	308,7	0,03	0,03	Cumple
109	43,12	308,7	0,14	30,97	308,69	0,1	0,11	Cumple
110	47,99	308,7	0,16	35,05	308,69	0,11	0,1	Cumple
111	42,28	308,7	0,14	33,7	308,69	0,11	0,1	Cumple
112	44	308,7	0,14	37,22	308,69	0,12	0,11	Cumple

Tabla AIII 15. Caso E3 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local		Global	$\eta$	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$		$\eta$
1	183,75	308,7	0,6	101,58	308,69	0,33	0,31	Cumple
2	165,34	308,7	0,54	81,16	308,67	0,26	0,24	Cumple
3	151,89	308,7	0,49	82,24	308,68	0,27	0,19	Cumple
4	99,34	308,7	0,32	94,97	308,69	0,31	0,04	Cumple
5	103,24	308,7	0,33	58,11	308,61	0,19	0,3	Cumple
6	89,19	308,7	0,29	48,32	308,35	0,16	0,26	Cumple
7	71,74	308,7	0,23	33,73	308,3	0,11	0,18	Cumple
8	47,82	308,7	0,15	39,4	307,21	0,13	0,12	Cumple
9	167,6	308,7	0,54	118,85	308,69	0,39	0,27	Cumple
10	162,01	308,7	0,52	89,41	308,67	0,29	0,22	Cumple
11	157,14	308,7	0,51	84,88	308,68	0,27	0,15	Cumple
12	121,05	308,7	0,39	116,19	308,69	0,38	0,05	Cumple
13	114,2	308,7	0,37	57,49	308,5	0,19	0,33	Cumple
14	96,83	308,7	0,31	41,36	307,99	0,13	0,3	Cumple
15	78,51	308,7	0,25	31,55	307,98	0,1	0,2	Cumple
16	53,8	308,7	0,17	44,55	307,61	0,14	0,15	Cumple
17	211,04	308,7	0,68	195,44	308,66	0,63	0,07	Cumple
18	223,64	308,7	0,72	205,78	308,63	0,67	0,09	Cumple
19	225,23	308,7	0,73	194,76	308,66	0,63	0,1	Cumple
20	248,09	308,7	0,8	175,84	308,67	0,57	0,17	Cumple
21	100,79	308,7	0,33	79,86	305,14	0,26	0,22	Cumple
22	106,12	308,7	0,34	90,91	301,78	0,3	0,25	Cumple
23	104,41	308,7	0,34	79,87	303,63	0,26	0,24	Cumple
24	125,52	308,7	0,41	81,88	306,49	0,27	0,28	Cumple
25	268,12	308,7	0,87	247,5	308,67	0,8	0,06	Cumple
26	285,73	308,7	0,93	265,69	308,65	0,86	0,09	Cumple
27	285,69	308,7	0,93	248,64	308,67	0,81	0,12	Cumple
28	304,25	308,7	0,99	222,11	308,68	0,72	0,18	Cumple
29	115,61	308,7	0,37	98,03	305,31	0,32	0,27	Cumple
30	128,84	308,7	0,42	107,98	303,31	0,36	0,32	Cumple
31	121,11	308,7	0,39	100,92	303,65	0,33	0,32	Cumple
32	142,04	308,7	0,46	94,64	305,9	0,31	0,37	Cumple
33	57,77	249,21	0,23	53,99	183,69	0,29	0,15	Cumple
34	56,28	244,83	0,23	53,83	151,67	0,35	0,15	Cumple
35	59,87	248,55	0,24	49,69	182,11	0,27	0,15	Cumple
36	54,97	244,83	0,22	55,57	169,32	0,33	0,15	Cumple

37	105,35	308,7	0,34	43,74	306,08	0,14	0,2	Cumple
38	88,4	308,7	0,29	44,71	303,03	0,15	0,13	Cumple
39	85,74	308,7	0,28	85,81	306,85	0,28	0,16	Cumple
40	95,13	308,7	0,31	95,47	308,03	0,31	0,21	Cumple
41	72,61	308,7	0,24	72,69	306,25	0,24	0,16	Cumple
42	88,59	308,7	0,29	88,8	307,75	0,29	0,21	Cumple
43	90,44	308,7	0,29	43,29	305,82	0,14	0,17	Cumple
44	70,1	308,27	0,23	39,92	298,87	0,13	0,13	Cumple
45	88,2	308,7	0,29	53,23	307,15	0,17	0,18	Cumple
46	70,83	308,7	0,23	45,52	303,57	0,15	0,12	Cumple
47	71,87	308,7	0,23	71,04	305,59	0,23	0,16	Cumple
48	76,5	308,7	0,25	76,68	307,9	0,25	0,19	Cumple
49	79,62	308,7	0,26	63,57	305,35	0,21	0,15	Cumple
50	76,89	308,7	0,25	77,25	307,93	0,25	0,2	Cumple
51	79,05	308,7	0,26	57,73	307,01	0,19	0,16	Cumple
52	60,69	308,7	0,2	45,28	302,87	0,15	0,12	Cumple
53	115,92	308,7	0,38	75,75	304,2	0,25	0,24	Cumple
54	89,42	295,58	0,3	41,28	279,65	0,15	0,15	Cumple
55	70,09	308,63	0,23	63,8	299,39	0,21	0,15	Cumple
56	113,35	308,7	0,37	104,57	305,33	0,34	0,29	Cumple
57	74,11	308,7	0,24	55,46	299,78	0,18	0,14	Cumple
58	116,15	308,7	0,38	117,17	304,95	0,38	0,31	Cumple
59	101,99	308,7	0,33	68,74	302,58	0,23	0,24	Cumple
60	72,61	282,12	0,26	36,64	256	0,14	0,16	Cumple
61	96,12	308,7	0,31	80,88	304,88	0,27	0,22	Cumple
62	65	297,26	0,22	45,78	282,36	0,16	0,13	Cumple
63	84,4	293,64	0,29	44,61	276,46	0,16	0,15	Cumple
64	118,13	308,7	0,38	83,72	303,99	0,28	0,27	Cumple
65	81,71	299,01	0,27	48,1	285,11	0,17	0,12	Cumple
66	116,19	308,7	0,38	102,53	303,96	0,34	0,29	Cumple
67	92,76	308,7	0,3	77,94	305,83	0,25	0,24	Cumple
68	66,88	291,94	0,23	41,56	273,62	0,15	0,13	Cumple
69	97,78	303,45	0,32	98,32	291,89	0,34	0,34	Cumple
70	60,36	300,34	0,2	61,08	287,18	0,21	0,19	Cumple
71	63,44	298,91	0,21	63,29	284,96	0,22	0,21	Cumple
72	82,66	308,7	0,27	83,09	304,07	0,27	0,3	Cumple
73	53,96	293,11	0,18	54,37	275,58	0,2	0,17	Cumple
74	83,07	308,7	0,27	83,47	302,93	0,28	0,31	Cumple
75	96,44	308,7	0,31	84,89	300,3	0,28	0,33	Cumple
76	63,78	302,12	0,21	63,8	289,9	0,22	0,19	Cumple
77	109,69	308,7	0,36	110,96	301,67	0,37	0,33	Cumple

78	64,76	305,05	0,21	64,6	294,25	0,22	0,17	Cumple
79	65,76	292,8	0,22	57,06	275,07	0,21	0,21	Cumple
80	74,02	308,7	0,24	72,07	302,2	0,24	0,29	Cumple
81	58,98	299,14	0,2	53,83	285,31	0,19	0,17	Cumple
82	97,26	308,7	0,32	97,25	305,53	0,32	0,31	Cumple
83	89,72	308,7	0,29	90,68	302,64	0,3	0,32	Cumple
84	60,62	308,41	0,2	60,39	299,08	0,2	0,19	Cumple
85	83,74	308,7	0,27	48,3	305,23	0,16	0,17	Cumple
86	43,43	308,7	0,14	41,71	308,15	0,14	0,06	Cumple
87	62,31	298,21	0,21	46,02	283,87	0,16	0,16	Cumple
88	38,23	308,7	0,12	22,87	304,88	0,08	0,06	Cumple
89	71,85	301,9	0,24	40,1	289,56	0,14	0,17	Cumple
90	49,53	308,7	0,16	28,68	303,17	0,09	0,07	Cumple
91	88,67	299,92	0,3	49,6	286,54	0,17	0,21	Cumple
92	42,09	308,7	0,14	31,67	307,89	0,1	0,05	Cumple
93	75,39	308,7	0,24	43,41	304,31	0,14	0,17	Cumple
94	36,88	308,7	0,12	31,87	307,89	0,1	0,05	Cumple
95	66,23	300,71	0,22	35,28	287,76	0,12	0,16	Cumple
96	43,89	308,7	0,14	30,92	305,56	0,1	0,06	Cumple
97	55,17	297,12	0,19	45,43	282,14	0,16	0,17	Cumple
98	34,04	308,7	0,11	27,18	304,76	0,09	0,08	Cumple
99	105,3	308,7	0,34	40,15	300,44	0,13	0,21	Cumple
100	56,71	308,7	0,18	41,77	307,92	0,14	0,06	Cumple
101	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,16	308,7	0	4,42	308,68	0,01	0	Cumple
103	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,16	308,7	0	4,42	308,68	0,01	0	Cumple
105	9,08	308,7	0,03	9,17	308,7	0,03	0,03	Cumple
106	8,02	308,7	0,03	5,03	308,69	0,02	0,03	Cumple
107	6,87	308,7	0,02	4,84	308,69	0,02	0,03	Cumple
108	10,67	308,7	0,03	10,81	308,7	0,04	0,03	Cumple
109	56	308,7	0,18	42,59	308,69	0,14	0,1	Cumple
110	37,79	308,7	0,12	19,89	308,6	0,06	0,12	Cumple
111	33,15	308,7	0,11	16,88	308,61	0,05	0,11	Cumple
112	52,62	308,7	0,17	48,8	308,69	0,16	0,12	Cumple

Tabla AIII 16. Caso E3 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{\sigma vm}$	S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$	$\eta$	¿Cumple?
ID	$\sigma_{vm}$	$F_{yd}$	$\eta_{\sigma vm}$	S	$F_y$	$\eta_{Local}$	$\eta_{Global}$	Resultado
1	166,13	308,7	0,54	81,33	308,69	0,26	0,29	Cumple
2	149,99	308,7	0,49	59,63	308,62	0,19	0,23	Cumple
3	137,79	308,7	0,45	63,47	308,66	0,21	0,18	Cumple
4	87,71	308,7	0,28	78,94	308,69	0,26	0,04	Cumple
5	121,94	308,7	0,4	83,75	308,68	0,27	0,29	Cumple
6	128,43	308,7	0,42	68,25	308,59	0,22	0,26	Cumple
7	123,08	308,7	0,4	59,59	308,64	0,19	0,15	Cumple
8	96,95	308,7	0,31	91,6	308,54	0,3	0,05	Cumple
9	145,22	308,7	0,47	99,29	308,69	0,32	0,31	Cumple
10	140,63	308,7	0,46	73,18	308,64	0,24	0,26	Cumple
11	135,71	308,7	0,44	66,63	308,68	0,22	0,18	Cumple
12	99,27	308,7	0,32	94,32	308,69	0,31	0,05	Cumple
13	133,26	308,7	0,43	80,82	308,69	0,26	0,29	Cumple
14	121,49	308,7	0,39	69,79	308,62	0,23	0,23	Cumple
15	112,49	308,7	0,36	58,64	308,64	0,19	0,14	Cumple
16	85,36	308,7	0,28	81,48	308,5	0,26	0,05	Cumple
17	176,7	308,7	0,57	159,38	308,63	0,52	0,08	Cumple
18	185,5	308,7	0,6	167,58	308,6	0,54	0,09	Cumple
19	182,48	308,7	0,59	154,31	308,61	0,5	0,11	Cumple
20	201,19	308,7	0,65	142,76	308,65	0,46	0,15	Cumple
21	214,57	308,7	0,7	193,05	308,34	0,63	0,07	Cumple
22	229,89	308,7	0,74	210,56	307,96	0,68	0,1	Cumple
23	230,74	308,7	0,75	191,96	308,32	0,62	0,12	Cumple
24	245,13	308,7	0,79	178,38	308,66	0,58	0,17	Cumple
25	212,7	308,7	0,69	192,14	308,65	0,62	0,09	Cumple
26	225,27	308,7	0,73	204,37	308,57	0,66	0,12	Cumple
27	225,2	308,7	0,73	188,36	308,58	0,61	0,12	Cumple
28	257,65	308,7	0,83	177,4	308,63	0,57	0,19	Cumple
29	186,4	308,7	0,6	172,73	308,24	0,56	0,08	Cumple
30	199,41	308,7	0,65	186,87	307,86	0,61	0,1	Cumple
31	203,02	308,7	0,66	171,61	308,25	0,56	0,12	Cumple
32	221,04	308,7	0,72	156,49	308,63	0,51	0,18	Cumple
33	62,05	244,91	0,25	55,72	173,32	0,32	0,16	Cumple
34	57,23	244,83	0,23	57,14	158,99	0,36	0,16	Cumple
35	58,14	255,01	0,23	54,24	197,55	0,27	0,14	Cumple

36	57,4	246,9	0,23	54,34	178,12	0,31	0,15	Cumple
37	97,64	308,7	0,32	57,78	307,33	0,19	0,18	Cumple
38	84,78	308,7	0,27	49,32	305,8	0,16	0,14	Cumple
39	79,61	308,7	0,26	79,7	306,57	0,26	0,16	Cumple
40	88,16	308,7	0,29	88,41	307,94	0,29	0,2	Cumple
41	85,92	308,7	0,28	85,98	307,02	0,28	0,17	Cumple
42	102,73	308,7	0,33	103,04	308,13	0,33	0,23	Cumple
43	106,55	308,7	0,35	40,13	304,22	0,13	0,18	Cumple
44	81,65	308,7	0,26	46,2	299,7	0,15	0,15	Cumple
45	78,58	308,7	0,25	61,82	307,59	0,2	0,16	Cumple
46	62,47	308,7	0,2	53,6	304,83	0,18	0,1	Cumple
47	79,49	308,7	0,26	61,77	304,12	0,2	0,15	Cumple
48	84,24	308,7	0,27	67,21	307,69	0,22	0,16	Cumple
49	79,28	308,7	0,26	74,81	306,6	0,24	0,16	Cumple
50	90,7	308,7	0,29	91,04	308,25	0,3	0,2	Cumple
51	91,55	308,7	0,3	52,96	306,74	0,17	0,17	Cumple
52	70,09	308,7	0,23	45,64	302,94	0,15	0,13	Cumple
53	111,12	308,7	0,36	92,86	304,21	0,31	0,26	Cumple
54	88,91	307,24	0,29	51,68	297,41	0,17	0,16	Cumple
55	88,67	303,22	0,29	59,88	291,55	0,21	0,18	Cumple
56	134,93	308,7	0,44	97,72	303,25	0,32	0,34	Cumple
57	76,85	308,7	0,25	77,41	302,05	0,26	0,18	Cumple
58	145,31	308,7	0,47	146,76	306,59	0,48	0,37	Cumple
59	120,12	308,7	0,39	63,58	302,47	0,21	0,26	Cumple
60	81,06	272,51	0,3	36,3	236,83	0,15	0,19	Cumple
61	97,34	308,7	0,32	97,78	306,86	0,32	0,24	Cumple
62	57,74	297,7	0,19	57,68	283,06	0,2	0,13	Cumple
63	84,41	284,32	0,3	46,49	260,11	0,18	0,16	Cumple
64	133,04	308,7	0,43	77,72	302,49	0,26	0,3	Cumple
65	88,3	308,7	0,29	56,99	301,14	0,19	0,14	Cumple
66	122,44	308,7	0,4	123,05	305,92	0,4	0,32	Cumple
67	111,73	308,7	0,36	70,26	304,66	0,23	0,25	Cumple
68	72,56	286,85	0,25	43,72	264,73	0,17	0,17	Cumple
69	119,81	300,09	0,4	120,36	286,8	0,42	0,4	Cumple
70	75,26	294,07	0,26	76,46	277,18	0,28	0,25	Cumple
71	75,15	297,25	0,25	75	282,33	0,27	0,26	Cumple
72	94,35	308,7	0,31	94,34	300,92	0,31	0,34	Cumple
73	68,15	302,3	0,23	68,45	290,17	0,24	0,22	Cumple
74	97,48	308,7	0,32	97,94	300,56	0,33	0,36	Cumple
75	127,51	308,7	0,41	108,63	300,57	0,36	0,4	Cumple
76	90,95	308,7	0,29	90,89	301,82	0,3	0,26	Cumple

77	129,66	308,7	0,42	130,96	301,82	0,43	0,38	Cumple
78	63,24	300,47	0,21	63,17	287,38	0,22	0,19	Cumple
79	75,87	295,45	0,26	65,97	279,43	0,24	0,23	Cumple
80	91,65	303,06	0,3	86,07	291,31	0,3	0,33	Cumple
81	65,5	294,58	0,22	63,95	278,02	0,23	0,22	Cumple
82	104,09	308,7	0,34	104,36	304,41	0,34	0,33	Cumple
83	121,77	308,7	0,39	122,93	302,83	0,41	0,4	Cumple
84	68,74	308,7	0,22	68,57	300,51	0,23	0,2	Cumple
85	80,2	308,7	0,26	39,85	304,6	0,13	0,17	Cumple
86	43,44	308,7	0,14	33,96	307,28	0,11	0,05	Cumple
87	78,98	292,13	0,27	48,54	273,93	0,18	0,2	Cumple
88	37,38	308,7	0,12	26,41	306,9	0,09	0,04	Cumple
89	103,6	298,46	0,35	44,67	284,26	0,16	0,23	Cumple
90	54,26	308,7	0,18	39,05	307,62	0,13	0,04	Cumple
91	80,18	301,52	0,27	52,08	288,99	0,18	0,2	Cumple
92	39,3	308,7	0,13	26,81	304,95	0,09	0,05	Cumple
93	61,4	308,7	0,2	36,83	306,49	0,12	0,14	Cumple
94	35,96	308,7	0,12	30,23	306,39	0,1	0,08	Cumple
95	67,29	288,41	0,23	32,21	267,5	0,12	0,18	Cumple
96	42,12	308,7	0,14	28,26	306,75	0,09	0,07	Cumple
97	75,48	293,69	0,26	41,66	276,55	0,15	0,18	Cumple
98	42,4	308,7	0,14	42,14	306,83	0,14	0,08	Cumple
99	72,51	308,7	0,23	36,25	307,14	0,12	0,14	Cumple
100	52,44	308,7	0,17	32,13	305,7	0,11	0,07	Cumple
101	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
105	9,12	308,7	0,03	8,06	308,7	0,03	0,03	Cumple
106	8,43	308,7	0,03	6,79	308,7	0,02	0,03	Cumple
107	7,14	308,7	0,02	7,45	308,7	0,02	0,03	Cumple
108	9,44	308,7	0,03	9,55	308,7	0,03	0,03	Cumple
109	49,95	308,7	0,16	35,17	308,69	0,11	0,11	Cumple
110	42,17	308,7	0,14	31,59	308,69	0,1	0,1	Cumple
111	37,64	308,7	0,12	27,61	308,69	0,09	0,11	Cumple
112	44,6	308,7	0,14	42,01	308,69	0,14	0,12	Cumple

Tabla AIII 17. Caso E3 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELU)

ID barra	Plastificación			Pandeo				Resultado
	$\sigma_{vm}$ (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta_{ovm}$	Local		Global	¿Cumple?	
				S (MPa)	$F_{yd}$ (MPa)	$\eta$		$\eta$
1	151,23	308,7	0,49	77,37	308,68	0,25	0,28	Cumple
2	136,8	308,7	0,44	60,84	308,59	0,2	0,23	Cumple
3	122,75	308,7	0,4	64,4	308,64	0,21	0,17	Cumple
4	88,5	308,7	0,29	81,82	308,57	0,27	0,05	Cumple
5	122,8	308,7	0,4	114,79	308,69	0,37	0,29	Cumple
6	124,89	308,7	0,4	90,52	308,6	0,29	0,22	Cumple
7	120,04	308,7	0,39	60,57	308,64	0,2	0,15	Cumple
8	94,17	308,7	0,31	89,2	308,6	0,29	0,05	Cumple
9	142,31	308,7	0,46	81,25	308,69	0,26	0,32	Cumple
10	140,65	308,7	0,46	68,02	308,64	0,22	0,25	Cumple
11	135,69	308,7	0,44	66,74	308,66	0,22	0,16	Cumple
12	100,36	308,7	0,33	96,83	308,62	0,31	0,05	Cumple
13	174,82	308,7	0,57	71,74	308,68	0,23	0,31	Cumple
14	158,39	308,7	0,51	61,7	308,62	0,2	0,25	Cumple
15	142,69	308,7	0,46	70,6	308,65	0,23	0,17	Cumple
16	97,46	308,7	0,32	88,92	308,61	0,29	0,05	Cumple
17	180,59	308,7	0,59	165,79	308,37	0,54	0,08	Cumple
18	190,08	308,7	0,62	172,61	307,98	0,56	0,09	Cumple
19	189,9	308,7	0,62	161,47	307,99	0,52	0,12	Cumple
20	207,11	308,7	0,67	146,38	308,65	0,47	0,16	Cumple
21	213,01	308,7	0,69	191,06	308,49	0,62	0,08	Cumple
22	227,44	308,7	0,74	208,56	308,15	0,68	0,11	Cumple
23	230,6	308,7	0,75	192,96	308,36	0,63	0,12	Cumple
24	245,24	308,7	0,79	178,23	308,66	0,58	0,17	Cumple
25	218,07	308,7	0,71	198,13	308,47	0,64	0,08	Cumple
26	232,18	308,7	0,75	209,16	308,24	0,68	0,09	Cumple
27	232,21	308,7	0,75	195,76	308,29	0,63	0,13	Cumple
28	260,35	308,7	0,84	182,33	308,64	0,59	0,19	Cumple
29	192,39	308,7	0,62	173,96	308,42	0,56	0,09	Cumple
30	200,32	308,7	0,65	187,96	308,23	0,61	0,1	Cumple
31	206,89	308,7	0,67	174,81	308,38	0,57	0,12	Cumple
32	224,95	308,7	0,73	158,48	308,63	0,51	0,19	Cumple
33	49,78	244,83	0,2	44,01	149,13	0,3	0,13	Cumple
34	65	244,83	0,27	59,78	171,32	0,35	0,17	Cumple
35	49,22	244,83	0,2	46,13	155,81	0,3	0,13	Cumple
36	60,08	264,45	0,23	58,59	219,35	0,27	0,15	Cumple

37	92,41	308,7	0,3	69,09	306,63	0,23	0,14	Cumple
38	91,68	308,7	0,3	91,79	307,64	0,3	0,17	Cumple
39	93,36	308,7	0,3	67,98	306,52	0,22	0,14	Cumple
40	86,84	308,7	0,28	83,76	306,96	0,27	0,16	Cumple
41	81,23	308,7	0,26	73,15	306,88	0,24	0,13	Cumple
42	95	308,7	0,31	94,89	307,68	0,31	0,17	Cumple
43	99,66	308,7	0,32	57,1	304,69	0,19	0,14	Cumple
44	85,13	308,7	0,28	73,25	305,73	0,24	0,17	Cumple
45	61,51	308,7	0,2	54,24	305,38	0,18	0,18	Cumple
46	55,73	304,86	0,18	47,67	293,98	0,16	0,16	Cumple
47	64,64	308,7	0,21	49,37	302,46	0,16	0,18	Cumple
48	61,94	307,8	0,2	40,82	298,21	0,14	0,16	Cumple
49	77,77	308,7	0,25	54,51	304,92	0,18	0,2	Cumple
50	70,97	308,7	0,23	50,05	301,23	0,17	0,19	Cumple
51	66,58	308,7	0,22	66,91	306,19	0,22	0,2	Cumple
52	57,55	308,7	0,19	57,99	301,55	0,19	0,17	Cumple
53	96,91	308,7	0,31	78,04	303,48	0,26	0,16	Cumple
54	105,99	308,7	0,34	101,32	301,58	0,34	0,25	Cumple
55	97,9	305,57	0,32	59,68	295,01	0,2	0,18	Cumple
56	133,33	302,52	0,44	72,43	290,5	0,25	0,28	Cumple
57	77,44	308,7	0,25	77,57	304,7	0,25	0,16	Cumple
58	117,27	308,7	0,38	116,87	301,86	0,39	0,26	Cumple
59	102,06	300,68	0,34	58,04	287,7	0,2	0,18	Cumple
60	120,7	298,62	0,4	65,38	284,51	0,23	0,24	Cumple
61	94,13	305,81	0,31	73,5	295,36	0,25	0,26	Cumple
62	88,03	278,2	0,32	66,72	248,41	0,27	0,27	Cumple
63	87,29	304,4	0,29	64,32	293,3	0,22	0,24	Cumple
64	88,38	282,6	0,31	69,06	256,9	0,27	0,27	Cumple
65	92,66	293,11	0,32	63,42	275,58	0,23	0,26	Cumple
66	89,5	295,15	0,3	68,51	278,96	0,25	0,27	Cumple
67	84,45	301,13	0,28	85,96	288,4	0,3	0,27	Cumple
68	82,57	293,59	0,28	83,51	276,39	0,3	0,27	Cumple
69	94,77	291,73	0,32	95,17	273,25	0,35	0,28	Cumple
70	86,17	308,7	0,28	88,78	300,68	0,3	0,27	Cumple
71	86,7	288,74	0,3	77,78	268,09	0,29	0,33	Cumple
72	76,78	308,7	0,25	76,76	303,11	0,25	0,23	Cumple
73	89,18	299,73	0,3	89,52	286,24	0,31	0,26	Cumple
74	81,86	308,57	0,27	82,14	299,31	0,27	0,26	Cumple
75	88,9	283,8	0,31	72,49	259,16	0,28	0,29	Cumple
76	92,53	308,7	0,3	92,52	303,95	0,3	0,25	Cumple
77	119,96	299,16	0,4	121,41	285,35	0,43	0,4	Cumple

78	99,7	283,62	0,35	98,99	258,81	0,38	0,36	Cumple
79	113,16	291,28	0,39	114,11	272,5	0,42	0,4	Cumple
80	104,06	282,15	0,37	103,81	256,05	0,41	0,39	Cumple
81	109,87	291,84	0,38	103,59	273,44	0,38	0,39	Cumple
82	91,18	306,03	0,3	87,47	295,68	0,3	0,32	Cumple
83	119,13	301,47	0,4	121,02	288,91	0,42	0,36	Cumple
84	97,9	302,52	0,32	98,51	290,5	0,34	0,31	Cumple
85	90,67	297,1	0,31	42,91	282,1	0,15	0,22	Cumple
86	43,01	308,7	0,14	33,67	307,36	0,11	0,05	Cumple
87	79,92	300,59	0,27	48,79	287,56	0,17	0,2	Cumple
88	36,95	308,7	0,12	26,84	306,7	0,09	0,05	Cumple
89	102,09	299	0,34	49,32	285,11	0,17	0,24	Cumple
90	52,81	308,7	0,17	38,28	307,62	0,12	0,04	Cumple
91	82,27	289,64	0,28	50,74	269,66	0,19	0,24	Cumple
92	39,73	308,7	0,13	28,21	305,83	0,09	0,04	Cumple
93	61,28	298,82	0,21	36,51	284,81	0,13	0,13	Cumple
94	35,71	308,7	0,12	32,62	306,51	0,11	0,08	Cumple
95	69,05	296,82	0,23	32,51	281,65	0,12	0,15	Cumple
96	43,04	308,7	0,14	27,81	306,28	0,09	0,07	Cumple
97	69,37	304,82	0,23	34,15	293,92	0,12	0,15	Cumple
98	42,95	308,7	0,14	42,81	306,64	0,14	0,09	Cumple
99	74,32	308,7	0,24	35,05	300,85	0,12	0,14	Cumple
100	53,11	308,7	0,17	31,96	305,78	0,1	0,07	Cumple
101	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
102	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
103	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
104	0,16	308,7	0	4,42	308,69	0,01	0	Cumple
105	8,67	308,7	0,03	7,69	308,7	0,02	0,03	Cumple
106	9,26	308,7	0,03	7,34	308,7	0,02	0,03	Cumple
107	9,2	308,7	0,03	9,27	308,7	0,03	0,03	Cumple
108	7,62	308,7	0,02	7,77	308,7	0,03	0,03	Cumple
109	45,9	308,7	0,15	34,24	308,69	0,11	0,11	Cumple
110	54,66	308,7	0,18	27,72	308,69	0,09	0,11	Cumple
111	42,9	308,7	0,14	43,6	308,69	0,14	0,12	Cumple
112	43,84	308,7	0,14	32,79	308,69	0,11	0,1	Cumple

4.3.2 Estados Límite de Fatiga de las barras

Tabla AIII 18. Caso El jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	8,20E+06	1,10E+06	0	0
2	7,87E+02	6,49E+06	9,22E+05	0	0
3	7,87E+02	7,96E+06	1,07E+06	0	0
4	7,87E+02	2,59E+07	2,60E+06	0	0
5	7,87E+02	3,78E+08	1,94E+07	0	0
6	7,87E+02	1,06E+08	7,48E+06	0	0
7	7,87E+02	1,44E+08	9,40E+06	0	0
8	7,87E+02	8,31E+08	3,51E+07	0	0
9	7,87E+02	3,78E+08	1,94E+07	0	0
10	7,87E+02	1,18E+08	8,10E+06	0	0
11	7,87E+02	1,62E+08	1,03E+07	0	0
12	7,87E+02	9,77E+08	3,96E+07	0	0
13	7,87E+02	6,07E+06	8,76E+05	0	0
14	7,87E+02	5,53E+06	8,17E+05	0	0
15	7,87E+02	6,72E+06	9,46E+05	0	0
16	7,87E+02	2,15E+07	2,26E+06	0	0
17	7,87E+02	1,25E+06	3,50E+05	0	0
18	7,87E+02	9,03E+05	2,79E+05	0	0
19	7,87E+02	8,48E+05	2,69E+05	0	0
20	7,87E+02	5,97E+05	2,07E+05	0	0
21	7,87E+02	1,45E+08	1,24E+07	0	0
22	7,87E+02	8,23E+07	8,23E+06	0	0
23	7,87E+02	8,33E+07	8,40E+06	0	0
24	7,87E+02	3,17E+07	4,06E+06	0	0
25	7,87E+02	1,62E+08	1,35E+07	0	0
26	7,87E+02	6,77E+07	7,11E+06	0	0
27	7,87E+02	6,49E+07	6,96E+06	0	0
28	7,87E+02	2,88E+07	3,79E+06	0	0
29	7,87E+02	1,03E+06	3,03E+05	0	0
30	7,87E+02	7,13E+05	2,34E+05	0	0
31	7,87E+02	6,55E+05	2,22E+05	0	0
32	7,87E+02	4,36E+05	1,63E+05	0	0
33	7,87E+02	1,56E+08	1,37E+07	0	0
34	7,87E+02	1,90E+08	1,59E+07	0	0
35	7,87E+02	1,50E+08	1,33E+07	0	0
36	7,87E+02	2,52E+08	1,96E+07	0	0
37	7,87E+02	1,51E+08	1,34E+07	0	0
38	7,87E+02	1,35E+08	1,23E+07	0	0

39	7,87E+02	1,48E+08	1,32E+07	0	0
40	7,87E+02	1,28E+08	1,18E+07	0	0
41	7,87E+02	2,08E+08	1,70E+07	0	0
42	7,87E+02	2,42E+08	1,90E+07	0	0
43	7,87E+02	2,01E+08	1,66E+07	0	0
44	7,87E+02	2,10E+08	1,71E+07	0	0
45	7,87E+02	1,04E+08	1,01E+07	0	0
46	7,87E+02	2,39E+08	1,89E+07	0	0
47	7,87E+02	1,21E+08	1,13E+07	0	0
48	7,87E+02	2,45E+08	1,92E+07	0	0
49	7,87E+02	8,09E+07	8,38E+06	0	0
50	7,87E+02	1,87E+08	1,57E+07	0	0
51	7,87E+02	2,09E+08	1,71E+07	0	0
52	7,87E+02	3,02E+08	2,25E+07	0	0
53	7,87E+02	1,06E+08	1,03E+07	0	0
54	7,87E+02	7,35E+07	7,80E+06	0	0
55	7,87E+02	1,16E+08	1,10E+07	0	0
56	7,87E+02	1,49E+08	1,32E+07	0	0
57	7,87E+02	3,23E+08	2,37E+07	0	0
58	7,87E+02	7,57E+08	4,48E+07	0	0
59	7,87E+02	2,39E+08	1,89E+07	0	0
60	7,87E+02	3,22E+08	2,36E+07	0	0
61	7,87E+02	7,88E+07	8,22E+06	0	0
62	7,87E+02	1,97E+08	1,63E+07	0	0
63	7,87E+02	1,62E+08	1,41E+07	0	0
64	7,87E+02	5,67E+07	6,42E+06	0	0
65	7,87E+02	4,92E+07	5,77E+06	0	0
66	7,87E+02	1,08E+08	1,04E+07	0	0
67	7,87E+02	4,56E+08	3,06E+07	0	0
68	7,87E+02	1,24E+08	1,15E+07	0	0
69	7,87E+02	1,12E+08	1,07E+07	0	0
70	7,87E+02	4,64E+07	5,52E+06	0	0
71	7,87E+02	4,43E+07	5,33E+06	0	0
72	7,87E+02	2,72E+07	3,69E+06	0	0
73	7,87E+02	3,94E+08	2,75E+07	0	0
74	7,87E+02	2,37E+08	1,88E+07	0	0
75	7,87E+02	2,74E+08	2,09E+07	0	0
76	7,87E+02	3,26E+08	2,39E+07	0	0
77	7,87E+02	2,10E+08	1,71E+07	0	0
78	7,87E+02	2,25E+08	1,81E+07	0	0
79	7,87E+02	3,97E+08	2,76E+07	0	0
80	7,87E+02	1,15E+08	1,09E+07	0	0
81	7,87E+02	1,08E+08	1,04E+07	0	0
82	7,87E+02	2,79E+08	2,12E+07	0	0

83	7,87E+02	3,96E+08	2,76E+07	0	0
84	7,87E+02	6,14E+07	6,81E+06	0	0
85	7,87E+02	2,83E+07	3,81E+06	0	0
86	7,87E+02	3,26E+08	2,39E+07	0	0
87	7,87E+02	3,08E+07	4,06E+06	0	0
88	7,87E+02	6,29E+08	3,90E+07	0	0
89	7,87E+02	1,94E+09	9,06E+07	0	0
90	7,87E+02	6,79E+09	2,32E+08	0	0
91	7,87E+02	2,02E+09	9,35E+07	0	0
92	7,87E+02	1,22E+10	3,61E+08	0	0
93	7,87E+02	8,72E+07	8,86E+06	0	0
94	7,87E+02	6,02E+08	3,78E+07	0	0
95	7,87E+02	2,70E+08	2,07E+07	0	0
96	7,87E+02	7,74E+08	4,56E+07	0	0
97	7,87E+02	4,70E+07	5,58E+06	0	0
98	7,87E+02	4,52E+08	3,05E+07	0	0
99	7,87E+02	3,19E+08	2,35E+07	0	0
100	7,87E+02	9,89E+08	5,48E+07	0	0
101	7,87E+02	1,74E+18	4,71E+14	0	0
102	7,87E+02	1,75E+18	4,72E+14	0	0
103	7,87E+02	1,75E+18	4,72E+14	0	0
104	7,87E+02	1,75E+18	4,72E+14	0	0
105	7,87E+02	7,89E+11	2,95E+09	0	0
106	7,87E+02	8,75E+11	3,18E+09	0	0
107	7,87E+02	1,37E+12	4,45E+09	0	0
108	7,87E+02	1,16E+12	3,93E+09	0	0
109	7,87E+02	1,09E+09	3,95E+07	0	0
110	7,87E+02	7,64E+08	3,04E+07	0	0
111	7,87E+02	6,63E+09	1,53E+08	0	0
112	7,87E+02	7,53E+09	1,69E+08	0	0

Tabla AIII 19. Caso El jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	3,79E+06	6,15E+05	0	0
2	7,87E+02	3,18E+06	5,39E+05	0	0
3	7,87E+02	3,74E+06	6,09E+05	0	0
4	7,87E+02	1,19E+07	1,45E+06	0	0
5	7,87E+02	6,98E+07	5,47E+06	0	0
6	7,87E+02	5,13E+07	4,34E+06	0	0
7	7,87E+02	6,13E+07	4,97E+06	0	0
8	7,87E+02	2,77E+08	1,54E+07	0	0
9	7,87E+02	1,17E+08	8,04E+06	0	0
10	7,87E+02	1,14E+08	7,92E+06	0	0
11	7,87E+02	8,49E+07	6,33E+06	0	0
12	7,87E+02	6,07E+08	2,77E+07	0	0
13	7,87E+02	3,70E+07	3,40E+06	0	0
14	7,87E+02	3,63E+07	3,35E+06	0	0
15	7,87E+02	4,13E+07	3,69E+06	0	0
16	7,87E+02	1,78E+08	1,10E+07	0	0
17	7,87E+02	5,25E+05	1,83E+05	0	0
18	7,87E+02	3,77E+05	1,45E+05	0	0,01
19	7,87E+02	3,53E+05	1,39E+05	0	0,01
20	7,87E+02	2,43E+05	1,05E+05	0	0,01
21	7,87E+02	1,52E+07	2,28E+06	0	0
22	7,87E+02	9,39E+06	1,62E+06	0	0
23	7,87E+02	1,05E+07	1,78E+06	0	0
24	7,87E+02	6,05E+06	1,17E+06	0	0
25	7,87E+02	4,28E+07	4,96E+06	0	0
26	7,87E+02	5,76E+07	6,30E+06	0	0
27	7,87E+02	7,96E+07	8,12E+06	0	0
28	7,87E+02	7,45E+07	7,72E+06	0	0
29	7,87E+02	8,70E+06	1,50E+06	0	0
30	7,87E+02	5,26E+06	1,05E+06	0	0
31	7,87E+02	5,46E+06	1,09E+06	0	0
32	7,87E+02	2,73E+06	6,47E+05	0	0
33	7,87E+02	2,04E+08	1,68E+07	0	0
34	7,87E+02	1,51E+08	1,34E+07	0	0
35	7,87E+02	1,45E+08	1,30E+07	0	0
36	7,87E+02	2,16E+08	1,75E+07	0	0
37	7,87E+02	1,16E+08	1,10E+07	0	0
38	7,87E+02	1,20E+08	1,13E+07	0	0
39	7,87E+02	2,83E+08	2,14E+07	0	0
40	7,87E+02	2,20E+08	1,77E+07	0	0

41	7,87E+02	1,59E+08	1,39E+07	0	0
42	7,87E+02	2,57E+08	2,00E+07	0	0
43	7,87E+02	1,38E+08	1,25E+07	0	0
44	7,87E+02	3,61E+08	2,57E+07	0	0
45	7,87E+02	1,44E+08	1,29E+07	0	0
46	7,87E+02	1,51E+08	1,34E+07	0	0
47	7,87E+02	1,90E+08	1,59E+07	0	0
48	7,87E+02	2,50E+08	1,95E+07	0	0
49	7,87E+02	1,32E+08	1,21E+07	0	0
50	7,87E+02	3,13E+08	2,31E+07	0	0
51	7,87E+02	2,13E+08	1,73E+07	0	0
52	7,87E+02	4,83E+08	3,20E+07	0	0
53	7,87E+02	4,50E+07	5,40E+06	0	0
54	7,87E+02	8,00E+07	8,31E+06	0	0
55	7,87E+02	1,95E+08	1,62E+07	0	0
56	7,87E+02	7,57E+07	7,97E+06	0	0
57	7,87E+02	2,58E+08	2,00E+07	0	0
58	7,87E+02	2,87E+08	2,17E+07	0	0
59	7,87E+02	1,49E+08	1,32E+07	0	0
60	7,87E+02	4,30E+08	2,93E+07	0	0
61	7,87E+02	7,25E+07	7,72E+06	0	0
62	7,87E+02	1,61E+08	1,41E+07	0	0
63	7,87E+02	1,46E+08	1,30E+07	0	0
64	7,87E+02	5,27E+07	6,08E+06	0	0
65	7,87E+02	1,74E+08	1,49E+07	0	0
66	7,87E+02	1,62E+08	1,41E+07	0	0
67	7,87E+02	3,01E+08	2,25E+07	0	0
68	7,87E+02	5,91E+08	3,72E+07	0	0
69	7,87E+02	1,34E+08	1,22E+07	0	0
70	7,87E+02	8,87E+07	8,98E+06	0	0
71	7,87E+02	1,28E+08	1,18E+07	0	0
72	7,87E+02	3,33E+07	4,30E+06	0	0
73	7,87E+02	5,77E+08	3,66E+07	0	0
74	7,87E+02	6,39E+08	3,95E+07	0	0
75	7,87E+02	3,36E+08	2,44E+07	0	0
76	7,87E+02	5,91E+08	3,72E+07	0	0
77	7,87E+02	1,00E+08	9,83E+06	0	0
78	7,87E+02	9,14E+07	9,18E+06	0	0
79	7,87E+02	2,95E+08	2,21E+07	0	0
80	7,87E+02	4,21E+07	5,14E+06	0	0
81	7,87E+02	3,22E+08	2,36E+07	0	0
82	7,87E+02	4,88E+08	3,23E+07	0	0
83	7,87E+02	2,70E+08	2,07E+07	0	0
84	7,87E+02	3,39E+08	2,45E+07	0	0

85	7,87E+02	2,36E+07	3,33E+06	0	0
86	7,87E+02	3,73E+08	2,64E+07	0	0
87	7,87E+02	7,46E+07	7,89E+06	0	0
88	7,87E+02	4,85E+08	3,21E+07	0	0
89	7,87E+02	6,14E+08	3,83E+07	0	0
90	7,87E+02	3,16E+09	1,31E+08	0	0
91	7,87E+02	2,05E+09	9,45E+07	0	0
92	7,87E+02	1,72E+09	8,28E+07	0	0
93	7,87E+02	2,67E+07	3,65E+06	0	0
94	7,87E+02	5,40E+08	3,48E+07	0	0
95	7,87E+02	7,02E+07	7,53E+06	0	0
96	7,87E+02	3,61E+08	2,57E+07	0	0
97	7,87E+02	2,44E+08	1,92E+07	0	0
98	7,87E+02	1,29E+09	6,69E+07	0	0
99	7,87E+02	1,29E+09	6,70E+07	0	0
100	7,87E+02	1,78E+09	8,50E+07	0	0
101	7,87E+02	1,76E+18	4,75E+14	0	0
102	7,87E+02	1,73E+18	4,68E+14	0	0
103	7,87E+02	1,77E+18	4,76E+14	0	0
104	7,87E+02	1,74E+18	4,71E+14	0	0
105	7,87E+02	7,26E+11	2,77E+09	0	0
106	7,87E+02	9,79E+11	3,46E+09	0	0
107	7,87E+02	1,33E+12	4,36E+09	0	0
108	7,87E+02	5,14E+11	2,13E+09	0	0
109	7,87E+02	4,67E+08	2,10E+07	0	0
110	7,87E+02	3,12E+09	8,73E+07	0	0
111	7,87E+02	5,49E+09	1,33E+08	0	0
112	7,87E+02	1,70E+09	5,53E+07	0	0

Tabla AIII 20. Caso El jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	7,88E+06	1,07E+06	0	0
2	7,87E+02	6,03E+06	8,72E+05	0	0
3	7,87E+02	7,34E+06	1,01E+06	0	0
4	7,87E+02	2,45E+07	2,50E+06	0	0
5	7,87E+02	4,62E+08	2,26E+07	0	0
6	7,87E+02	1,49E+08	9,66E+06	0	0
7	7,87E+02	1,85E+08	1,14E+07	0	0
8	7,87E+02	1,17E+09	4,53E+07	0	0
9	7,87E+02	1,89E+08	1,15E+07	0	0
10	7,87E+02	1,02E+08	7,29E+06	0	0
11	7,87E+02	1,47E+08	9,54E+06	0	0
12	7,87E+02	8,61E+08	3,60E+07	0	0
13	7,87E+02	9,49E+06	1,23E+06	0	0
14	7,87E+02	6,45E+06	9,17E+05	0	0
15	7,87E+02	7,71E+06	1,05E+06	0	0
16	7,87E+02	2,40E+07	2,46E+06	0	0
17	7,87E+02	1,17E+06	3,34E+05	0	0
18	7,87E+02	8,75E+05	2,73E+05	0	0
19	7,87E+02	8,21E+05	2,63E+05	0	0
20	7,87E+02	5,76E+05	2,01E+05	0	0
21	7,87E+02	1,95E+08	1,54E+07	0	0
22	7,87E+02	8,81E+07	8,67E+06	0	0
23	7,87E+02	9,60E+07	9,34E+06	0	0
24	7,87E+02	3,48E+07	4,36E+06	0	0
25	7,87E+02	1,41E+08	1,21E+07	0	0
26	7,87E+02	6,92E+07	7,23E+06	0	0
27	7,87E+02	7,53E+07	7,79E+06	0	0
28	7,87E+02	3,25E+07	4,14E+06	0	0
29	7,87E+02	1,08E+06	3,14E+05	0	0
30	7,87E+02	7,39E+05	2,40E+05	0	0
31	7,87E+02	6,53E+05	2,21E+05	0	0
32	7,87E+02	4,31E+05	1,62E+05	0	0
33	7,87E+02	1,67E+08	1,45E+07	0	0
34	7,87E+02	1,54E+08	1,36E+07	0	0
35	7,87E+02	1,61E+08	1,40E+07	0	0
36	7,87E+02	2,21E+08	1,78E+07	0	0
37	7,87E+02	1,16E+08	1,10E+07	0	0
38	7,87E+02	1,10E+08	1,05E+07	0	0
39	7,87E+02	1,75E+08	1,49E+07	0	0
40	7,87E+02	1,45E+08	1,30E+07	0	0

41	7,87E+02	2,35E+08	1,87E+07	0	0
42	7,87E+02	3,48E+08	2,50E+07	0	0
43	7,87E+02	1,16E+08	1,10E+07	0	0
44	7,87E+02	2,15E+08	1,74E+07	0	0
45	7,87E+02	1,16E+08	1,10E+07	0	0
46	7,87E+02	2,08E+08	1,70E+07	0	0
47	7,87E+02	1,64E+08	1,42E+07	0	0
48	7,87E+02	3,76E+08	2,65E+07	0	0
49	7,87E+02	1,08E+08	1,04E+07	0	0
50	7,87E+02	2,70E+08	2,07E+07	0	0
51	7,87E+02	2,75E+08	2,10E+07	0	0
52	7,87E+02	4,94E+08	3,26E+07	0	0
53	7,87E+02	7,12E+07	7,61E+06	0	0
54	7,87E+02	6,57E+07	7,17E+06	0	0
55	7,87E+02	8,10E+07	8,39E+06	0	0
56	7,87E+02	6,14E+07	6,82E+06	0	0
57	7,87E+02	3,06E+08	2,27E+07	0	0
58	7,87E+02	2,04E+08	1,68E+07	0	0
59	7,87E+02	1,52E+08	1,34E+07	0	0
60	7,87E+02	3,61E+08	2,57E+07	0	0
61	7,87E+02	9,87E+07	9,73E+06	0	0
62	7,87E+02	2,88E+08	2,17E+07	0	0
63	7,87E+02	4,39E+08	2,98E+07	0	0
64	7,87E+02	8,49E+07	8,69E+06	0	0
65	7,87E+02	6,74E+07	7,31E+06	0	0
66	7,87E+02	1,12E+08	1,07E+07	0	0
67	7,87E+02	3,52E+08	2,53E+07	0	0
68	7,87E+02	2,23E+08	1,79E+07	0	0
69	7,87E+02	1,05E+08	1,02E+07	0	0
70	7,87E+02	4,12E+07	5,05E+06	0	0
71	7,87E+02	6,65E+07	7,23E+06	0	0
72	7,87E+02	3,87E+07	4,82E+06	0	0
73	7,87E+02	1,44E+09	7,27E+07	0	0
74	7,87E+02	4,21E+08	2,89E+07	0	0
75	7,87E+02	2,30E+08	1,83E+07	0	0
76	7,87E+02	1,64E+09	8,00E+07	0	0
77	7,87E+02	1,31E+08	1,20E+07	0	0
78	7,87E+02	5,39E+08	3,47E+07	0	0
79	7,87E+02	4,98E+08	3,27E+07	0	0
80	7,87E+02	1,29E+08	1,19E+07	0	0
81	7,87E+02	1,34E+08	1,23E+07	0	0
82	7,87E+02	1,31E+08	1,20E+07	0	0
83	7,87E+02	1,91E+08	1,60E+07	0	0
84	7,87E+02	7,64E+07	8,03E+06	0	0

85	7,87E+02	2,20E+07	3,16E+06	0	0
86	7,87E+02	3,11E+08	2,30E+07	0	0
87	7,87E+02	2,96E+07	3,94E+06	0	0
88	7,87E+02	5,95E+08	3,74E+07	0	0
89	7,87E+02	2,19E+09	9,93E+07	0	0
90	7,87E+02	7,37E+09	2,47E+08	0	0
91	7,87E+02	2,22E+09	1,00E+08	0	0
92	7,87E+02	1,52E+10	4,25E+08	0	0
93	7,87E+02	9,00E+07	9,08E+06	0	0
94	7,87E+02	6,02E+08	3,78E+07	0	0
95	7,87E+02	4,57E+08	3,07E+07	0	0
96	7,87E+02	8,32E+08	4,81E+07	0	0
97	7,87E+02	4,86E+07	5,72E+06	0	0
98	7,87E+02	4,16E+08	2,86E+07	0	0
99	7,87E+02	3,50E+08	2,51E+07	0	0
100	7,87E+02	1,03E+09	5,64E+07	0	0
101	7,87E+02	1,75E+18	4,73E+14	0	0
102	7,87E+02	1,76E+18	4,74E+14	0	0
103	7,87E+02	1,77E+18	4,76E+14	0	0
104	7,87E+02	1,76E+18	4,75E+14	0	0
105	7,87E+02	8,23E+11	3,04E+09	0	0
106	7,87E+02	7,44E+11	2,82E+09	0	0
107	7,87E+02	1,92E+12	5,74E+09	0	0
108	7,87E+02	1,03E+12	3,60E+09	0	0
109	7,87E+02	1,14E+09	4,11E+07	0	0
110	7,87E+02	1,15E+09	4,12E+07	0	0
111	7,87E+02	1,30E+10	2,54E+08	0	0
112	7,87E+02	6,78E+09	1,56E+08	0	0

Tabla AIII 21. Caso El jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	9,21E+06	1,20E+06	0	0
2	7,87E+02	6,20E+06	8,90E+05	0	0
3	7,87E+02	7,56E+06	1,03E+06	0	0
4	7,87E+02	2,45E+07	2,50E+06	0	0
5	7,87E+02	1,93E+08	1,18E+07	0	0
6	7,87E+02	7,98E+07	6,05E+06	0	0
7	7,87E+02	1,18E+08	8,11E+06	0	0
8	7,87E+02	7,68E+08	3,31E+07	0	0
9	7,87E+02	1,73E+08	1,08E+07	0	0
10	7,87E+02	1,18E+08	8,10E+06	0	0
11	7,87E+02	1,56E+08	1,00E+07	0	0
12	7,87E+02	9,17E+08	3,78E+07	0	0
13	7,87E+02	7,68E+06	1,05E+06	0	0
14	7,87E+02	5,33E+06	7,95E+05	0	0
15	7,87E+02	6,46E+06	9,19E+05	0	0
16	7,87E+02	2,02E+07	2,16E+06	0	0
17	7,87E+02	1,16E+06	3,30E+05	0	0
18	7,87E+02	8,62E+05	2,70E+05	0	0
19	7,87E+02	8,05E+05	2,59E+05	0	0
20	7,87E+02	5,67E+05	1,99E+05	0	0
21	7,87E+02	1,56E+08	1,31E+07	0	0
22	7,87E+02	8,43E+07	8,39E+06	0	0
23	7,87E+02	8,95E+07	8,86E+06	0	0
24	7,87E+02	4,22E+07	5,04E+06	0	0
25	7,87E+02	1,19E+08	1,07E+07	0	0
26	7,87E+02	5,53E+07	6,11E+06	0	0
27	7,87E+02	5,90E+07	6,48E+06	0	0
28	7,87E+02	2,62E+07	3,52E+06	0	0
29	7,87E+02	9,46E+05	2,84E+05	0	0
30	7,87E+02	6,90E+05	2,28E+05	0	0
31	7,87E+02	5,99E+05	2,07E+05	0	0
32	7,87E+02	4,06E+05	1,55E+05	0	0,01
33	7,87E+02	1,94E+08	1,61E+07	0	0
34	7,87E+02	1,36E+08	1,24E+07	0	0
35	7,87E+02	2,03E+08	1,67E+07	0	0
36	7,87E+02	2,14E+08	1,74E+07	0	0
37	7,87E+02	1,15E+08	1,09E+07	0	0
38	7,87E+02	1,13E+08	1,08E+07	0	0
39	7,87E+02	1,51E+08	1,34E+07	0	0
40	7,87E+02	1,71E+08	1,47E+07	0	0

41	7,87E+02	1,41E+08	1,27E+07	0	0
42	7,87E+02	2,03E+08	1,67E+07	0	0
43	7,87E+02	9,72E+07	9,62E+06	0	0
44	7,87E+02	1,97E+08	1,64E+07	0	0
45	7,87E+02	1,82E+08	1,54E+07	0	0
46	7,87E+02	2,75E+08	2,10E+07	0	0
47	7,87E+02	3,48E+08	2,50E+07	0	0
48	7,87E+02	5,46E+08	3,51E+07	0	0
49	7,87E+02	1,95E+08	1,62E+07	0	0
50	7,87E+02	2,02E+08	1,66E+07	0	0
51	7,87E+02	4,28E+08	2,92E+07	0	0
52	7,87E+02	6,84E+08	4,15E+07	0	0
53	7,87E+02	5,37E+07	6,17E+06	0	0
54	7,87E+02	4,59E+07	5,48E+06	0	0
55	7,87E+02	5,60E+07	6,36E+06	0	0
56	7,87E+02	7,08E+07	7,58E+06	0	0
57	7,87E+02	3,22E+08	2,36E+07	0	0
58	7,87E+02	4,42E+08	2,99E+07	0	0
59	7,87E+02	1,67E+08	1,44E+07	0	0
60	7,87E+02	1,79E+08	1,52E+07	0	0
61	7,87E+02	1,44E+08	1,29E+07	0	0
62	7,87E+02	3,48E+08	2,50E+07	0	0
63	7,87E+02	3,91E+08	2,73E+07	0	0
64	7,87E+02	2,20E+08	1,78E+07	0	0
65	7,87E+02	1,04E+08	1,01E+07	0	0
66	7,87E+02	1,73E+08	1,48E+07	0	0
67	7,87E+02	5,84E+08	3,69E+07	0	0
68	7,87E+02	4,15E+08	2,86E+07	0	0
69	7,87E+02	1,61E+08	1,41E+07	0	0
70	7,87E+02	3,84E+07	4,79E+06	0	0
71	7,87E+02	6,67E+07	7,25E+06	0	0
72	7,87E+02	3,83E+07	4,78E+06	0	0
73	7,87E+02	9,17E+08	5,18E+07	0	0
74	7,87E+02	5,83E+08	3,69E+07	0	0
75	7,87E+02	3,33E+08	2,42E+07	0	0
76	7,87E+02	2,50E+09	1,10E+08	0	0
77	7,87E+02	9,22E+07	9,24E+06	0	0
78	7,87E+02	2,64E+08	2,04E+07	0	0
79	7,87E+02	3,29E+08	2,40E+07	0	0
80	7,87E+02	9,47E+07	9,43E+06	0	0
81	7,87E+02	1,18E+08	1,11E+07	0	0
82	7,87E+02	1,14E+08	1,09E+07	0	0
83	7,87E+02	1,60E+08	1,39E+07	0	0
84	7,87E+02	5,75E+07	6,49E+06	0	0

85	7,87E+02	1,87E+07	2,79E+06	0	0
86	7,87E+02	3,62E+08	2,58E+07	0	0
87	7,87E+02	3,16E+07	4,14E+06	0	0
88	7,87E+02	6,83E+08	4,15E+07	0	0
89	7,87E+02	1,57E+09	7,76E+07	0	0
90	7,87E+02	6,49E+09	2,25E+08	0	0
91	7,87E+02	1,47E+09	7,36E+07	0	0
92	7,87E+02	1,28E+10	3,74E+08	0	0
93	7,87E+02	8,84E+07	8,95E+06	0	0
94	7,87E+02	6,05E+08	3,79E+07	0	0
95	7,87E+02	4,32E+08	2,94E+07	0	0
96	7,87E+02	6,89E+08	4,18E+07	0	0
97	7,87E+02	4,91E+07	5,76E+06	0	0
98	7,87E+02	4,41E+08	2,99E+07	0	0
99	7,87E+02	3,97E+08	2,76E+07	0	0
100	7,87E+02	1,10E+09	5,93E+07	0	0
101	7,87E+02	1,76E+18	4,74E+14	0	0
102	7,87E+02	1,76E+18	4,75E+14	0	0
103	7,87E+02	1,78E+18	4,78E+14	0	0
104	7,87E+02	1,77E+18	4,77E+14	0	0
105	7,87E+02	8,44E+11	3,10E+09	0	0
106	7,87E+02	7,14E+11	2,73E+09	0	0
107	7,87E+02	1,30E+12	4,28E+09	0	0
108	7,87E+02	1,28E+12	4,24E+09	0	0
109	7,87E+02	1,43E+09	4,86E+07	0	0
110	7,87E+02	1,14E+09	4,11E+07	0	0
111	7,87E+02	6,05E+09	1,43E+08	0	0
112	7,87E+02	8,91E+09	1,92E+08	0	0

Tabla AIII 22. Caso E2 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	3,96E+05	1,13E+05	0	0,01
2	7,87E+02	6,38E+05	1,62E+05	0	0
3	7,87E+02	1,28E+06	2,73E+05	0	0
4	7,87E+02	8,58E+06	1,14E+06	0	0
5	7,87E+02	1,49E+05	5,44E+04	0,01	0,01
6	7,87E+02	2,79E+05	8,70E+04	0	0,01
7	7,87E+02	1,13E+06	2,49E+05	0	0
8	7,87E+02	1,47E+07	1,70E+06	0	0
9	7,87E+02	1,90E+05	6,52E+04	0	0,01
10	7,87E+02	3,53E+05	1,04E+05	0	0,01
11	7,87E+02	1,40E+06	2,91E+05	0	0
12	7,87E+02	1,93E+07	2,09E+06	0	0
13	7,87E+02	2,97E+05	9,12E+04	0	0,01
14	7,87E+02	4,95E+05	1,34E+05	0	0,01
15	7,87E+02	1,24E+06	2,67E+05	0	0
16	7,87E+02	7,22E+06	9,98E+05	0	0
17	7,87E+02	8,21E+05	2,55E+05	0	0
18	7,87E+02	6,92E+05	2,29E+05	0	0
19	7,87E+02	7,93E+05	2,56E+05	0	0
20	7,87E+02	5,12E+05	1,84E+05	0	0
21	7,87E+02	4,38E+06	8,96E+05	0	0
22	7,87E+02	7,41E+06	1,35E+06	0	0
23	7,87E+02	1,78E+07	2,64E+06	0	0
24	7,87E+02	9,36E+06	1,63E+06	0	0
25	7,87E+02	5,38E+06	1,05E+06	0	0
26	7,87E+02	7,70E+06	1,39E+06	0	0
27	7,87E+02	2,08E+07	2,96E+06	0	0
28	7,87E+02	8,86E+06	1,56E+06	0	0
29	7,87E+02	5,77E+05	1,96E+05	0	0
30	7,87E+02	5,18E+05	1,84E+05	0	0
31	7,87E+02	4,63E+05	1,71E+05	0	0
32	7,87E+02	3,23E+05	1,31E+05	0	0,01
33	7,87E+02	1,17E+07	1,96E+06	0	0
34	7,87E+02	4,74E+07	5,61E+06	0	0
35	7,87E+02	1,33E+07	2,16E+06	0	0
36	7,87E+02	3,94E+07	4,89E+06	0	0
37	7,87E+02	3,36E+06	7,71E+05	0	0
38	7,87E+02	4,71E+06	9,94E+05	0	0
39	7,87E+02	3,32E+06	7,64E+05	0	0
40	7,87E+02	4,55E+06	9,68E+05	0	0

41	7,87E+02	1,71E+06	4,65E+05	0	0
42	7,87E+02	2,26E+06	5,73E+05	0	0
43	7,87E+02	1,41E+06	4,02E+05	0	0
44	7,87E+02	2,00E+06	5,22E+05	0	0
45	7,87E+02	2,10E+06	5,41E+05	0	0
46	7,87E+02	5,71E+05	2,04E+05	0	0
47	7,87E+02	7,53E+05	2,51E+05	0	0
48	7,87E+02	6,70E+05	2,30E+05	0	0
49	7,87E+02	2,15E+06	5,52E+05	0	0
50	7,87E+02	6,73E+05	2,31E+05	0	0
51	7,87E+02	8,85E+05	2,83E+05	0	0
52	7,87E+02	8,30E+05	2,70E+05	0	0
53	7,87E+02	5,02E+05	1,85E+05	0	0
54	7,87E+02	4,72E+05	1,77E+05	0	0
55	7,87E+02	6,35E+05	2,21E+05	0	0
56	7,87E+02	6,61E+05	2,28E+05	0	0
57	7,87E+02	7,64E+05	2,54E+05	0	0
58	7,87E+02	5,70E+05	2,04E+05	0	0
59	7,87E+02	7,56E+05	2,52E+05	0	0
60	7,87E+02	5,76E+05	2,05E+05	0	0
61	7,87E+02	1,33E+06	3,84E+05	0	0
62	7,87E+02	4,38E+05	1,67E+05	0	0
63	7,87E+02	9,11E+05	2,90E+05	0	0
64	7,87E+02	3,08E+05	1,28E+05	0	0,01
65	7,87E+02	1,90E+06	5,02E+05	0	0
66	7,87E+02	4,46E+05	1,69E+05	0	0
67	7,87E+02	1,06E+06	3,24E+05	0	0
68	7,87E+02	4,10E+05	1,59E+05	0	0
69	7,87E+02	3,83E+05	1,51E+05	0	0,01
70	7,87E+02	7,83E+05	2,59E+05	0	0
71	7,87E+02	3,21E+05	1,33E+05	0	0,01
72	7,87E+02	6,89E+05	2,35E+05	0	0
73	7,87E+02	4,64E+05	1,75E+05	0	0
74	7,87E+02	1,13E+06	3,41E+05	0	0
75	7,87E+02	5,13E+05	1,88E+05	0	0
76	7,87E+02	1,19E+06	3,53E+05	0	0
77	7,87E+02	1,13E+06	3,41E+05	0	0
78	7,87E+02	3,87E+06	8,57E+05	0	0
79	7,87E+02	1,70E+06	4,62E+05	0	0
80	7,87E+02	1,16E+07	1,95E+06	0	0
81	7,87E+02	1,43E+06	4,06E+05	0	0
82	7,87E+02	5,94E+06	1,18E+06	0	0
83	7,87E+02	2,37E+06	5,94E+05	0	0
84	7,87E+02	1,38E+07	2,23E+06	0	0

85	7,87E+02	3,33E+07	4,30E+06	0	0
86	7,87E+02	3,27E+08	2,39E+07	0	0
87	7,87E+02	2,20E+07	3,15E+06	0	0
88	7,87E+02	3,87E+08	2,71E+07	0	0
89	7,87E+02	5,89E+08	3,71E+07	0	0
90	7,87E+02	3,04E+09	1,27E+08	0	0
91	7,87E+02	6,31E+08	3,91E+07	0	0
92	7,87E+02	4,19E+09	1,62E+08	0	0
93	7,87E+02	7,46E+06	1,40E+06	0	0
94	7,87E+02	4,02E+08	2,79E+07	0	0
95	7,87E+02	2,52E+07	3,49E+06	0	0
96	7,87E+02	5,88E+08	3,71E+07	0	0
97	7,87E+02	5,84E+06	1,17E+06	0	0
98	7,87E+02	2,83E+08	2,14E+07	0	0
99	7,87E+02	2,80E+07	3,78E+06	0	0
100	7,87E+02	6,61E+08	4,05E+07	0	0
101	7,87E+02	1,62E+18	4,46E+14	0	0
102	7,87E+02	1,63E+18	4,47E+14	0	0
103	7,87E+02	1,60E+18	4,41E+14	0	0
104	7,87E+02	1,60E+18	4,41E+14	0	0
105	7,87E+02	1,26E+10	1,32E+08	0	0
106	7,87E+02	1,39E+10	1,43E+08	0	0
107	7,87E+02	1,04E+10	1,14E+08	0	0
108	7,87E+02	1,33E+10	1,38E+08	0	0
109	7,87E+02	2,79E+07	2,54E+06	0	0
110	7,87E+02	2,78E+07	2,53E+06	0	0
111	7,87E+02	1,30E+07	1,43E+06	0	0
112	7,87E+02	1,65E+07	1,71E+06	0	0

Tabla AIII 23. Caso E2 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	9,79E+04	3,96E+04	0,01	0,02
2	7,87E+02	1,69E+05	5,97E+04	0	0,01
3	7,87E+02	3,34E+05	9,95E+04	0	0,01
4	7,87E+02	2,62E+06	4,67E+05	0	0
5	7,87E+02	9,35E+05	2,15E+05	0	0
6	7,87E+02	1,92E+06	3,69E+05	0	0
7	7,87E+02	8,30E+06	1,11E+06	0	0
8	7,87E+02	6,40E+07	5,13E+06	0	0
9	7,87E+02	2,92E+05	9,00E+04	0	0,01
10	7,87E+02	6,47E+05	1,63E+05	0	0
11	7,87E+02	1,78E+06	3,50E+05	0	0
12	7,87E+02	2,70E+07	2,69E+06	0	0
13	7,87E+02	6,37E+05	1,62E+05	0	0
14	7,87E+02	1,36E+06	2,86E+05	0	0
15	7,87E+02	6,23E+06	8,94E+05	0	0
16	7,87E+02	4,62E+07	4,02E+06	0	0
17	7,87E+02	3,27E+05	1,28E+05	0	0,01
18	7,87E+02	2,96E+05	1,21E+05	0	0,01
19	7,87E+02	2,69E+05	1,14E+05	0	0,01
20	7,87E+02	1,93E+05	8,86E+04	0	0,01
21	7,87E+02	4,10E+06	8,52E+05	0	0
22	7,87E+02	3,57E+06	7,82E+05	0	0
23	7,87E+02	5,89E+06	1,15E+06	0	0
24	7,87E+02	4,51E+06	9,42E+05	0	0
25	7,87E+02	1,19E+07	1,90E+06	0	0
26	7,87E+02	2,02E+07	2,87E+06	0	0
27	7,87E+02	3,30E+07	4,20E+06	0	0
28	7,87E+02	1,33E+07	2,13E+06	0	0
29	7,87E+02	2,54E+06	5,95E+05	0	0
30	7,87E+02	1,96E+06	4,98E+05	0	0
31	7,87E+02	3,05E+06	7,03E+05	0	0
32	7,87E+02	1,95E+06	5,02E+05	0	0
33	7,87E+02	2,73E+07	3,71E+06	0	0
34	7,87E+02	2,81E+07	3,79E+06	0	0
35	7,87E+02	2,29E+07	3,25E+06	0	0
36	7,87E+02	3,20E+07	4,18E+06	0	0
37	7,87E+02	7,28E+05	2,45E+05	0	0
38	7,87E+02	2,08E+06	5,38E+05	0	0
39	7,87E+02	1,50E+06	4,20E+05	0	0
40	7,87E+02	7,74E+05	2,56E+05	0	0

41	7,87E+02	3,18E+06	7,39E+05	0	0
42	7,87E+02	1,31E+06	3,80E+05	0	0
43	7,87E+02	1,55E+06	4,31E+05	0	0
44	7,87E+02	4,93E+06	1,03E+06	0	0
45	7,87E+02	1,16E+06	3,47E+05	0	0
46	7,87E+02	4,35E+06	9,35E+05	0	0
47	7,87E+02	2,47E+06	6,12E+05	0	0
48	7,87E+02	1,30E+06	3,78E+05	0	0
49	7,87E+02	3,13E+06	7,30E+05	0	0
50	7,87E+02	1,28E+06	3,74E+05	0	0
51	7,87E+02	2,06E+06	5,34E+05	0	0
52	7,87E+02	8,17E+06	1,50E+06	0	0
53	7,87E+02	3,80E+05	1,50E+05	0	0,01
54	7,87E+02	1,93E+06	5,08E+05	0	0
55	7,87E+02	3,24E+06	7,50E+05	0	0
56	7,87E+02	3,54E+05	1,43E+05	0	0,01
57	7,87E+02	2,09E+06	5,39E+05	0	0
58	7,87E+02	3,21E+05	1,32E+05	0	0,01
59	7,87E+02	6,85E+05	2,34E+05	0	0
60	7,87E+02	3,75E+06	8,38E+05	0	0
61	7,87E+02	6,65E+05	2,29E+05	0	0
62	7,87E+02	6,59E+06	1,28E+06	0	0
63	7,87E+02	2,63E+06	6,41E+05	0	0
64	7,87E+02	3,81E+05	1,51E+05	0	0,01
65	7,87E+02	2,07E+06	5,36E+05	0	0
66	7,87E+02	3,17E+05	1,31E+05	0	0,01
67	7,87E+02	1,01E+06	3,14E+05	0	0
68	7,87E+02	8,19E+06	1,50E+06	0	0
69	7,87E+02	6,87E+05	2,34E+05	0	0
70	7,87E+02	1,85E+07	2,77E+06	0	0
71	7,87E+02	1,02E+07	1,78E+06	0	0
72	7,87E+02	2,64E+06	6,44E+05	0	0
73	7,87E+02	9,09E+06	1,63E+06	0	0
74	7,87E+02	1,95E+06	5,12E+05	0	0
75	7,87E+02	7,52E+05	2,51E+05	0	0
76	7,87E+02	2,92E+07	3,90E+06	0	0
77	7,87E+02	5,80E+05	2,06E+05	0	0
78	7,87E+02	1,08E+07	1,85E+06	0	0
79	7,87E+02	7,49E+06	1,41E+06	0	0
80	7,87E+02	2,85E+06	6,81E+05	0	0
81	7,87E+02	9,98E+06	1,74E+06	0	0
82	7,87E+02	2,71E+06	6,55E+05	0	0
83	7,87E+02	1,05E+06	3,21E+05	0	0
84	7,87E+02	1,31E+07	2,14E+06	0	0

85	7,87E+02	1,67E+07	2,56E+06	0	0
86	7,87E+02	2,36E+08	1,87E+07	0	0
87	7,87E+02	2,66E+07	3,64E+06	0	0
88	7,87E+02	2,58E+08	2,00E+07	0	0
89	7,87E+02	4,72E+07	5,60E+06	0	0
90	7,87E+02	8,09E+08	4,71E+07	0	0
91	7,87E+02	1,64E+08	1,42E+07	0	0
92	7,87E+02	6,57E+08	4,03E+07	0	0
93	7,87E+02	1,57E+07	2,45E+06	0	0
94	7,87E+02	2,15E+08	1,75E+07	0	0
95	7,87E+02	1,49E+07	2,35E+06	0	0
96	7,87E+02	2,30E+08	1,83E+07	0	0
97	7,87E+02	2,94E+07	3,93E+06	0	0
98	7,87E+02	7,12E+08	4,28E+07	0	0
99	7,87E+02	2,24E+08	1,80E+07	0	0
100	7,87E+02	9,33E+08	5,24E+07	0	0
101	7,87E+02	1,54E+18	4,30E+14	0	0
102	7,87E+02	1,56E+18	4,33E+14	0	0
103	7,87E+02	1,56E+18	4,33E+14	0	0
104	7,87E+02	1,52E+18	4,25E+14	0	0
105	7,87E+02	1,03E+10	1,13E+08	0	0
106	7,87E+02	2,86E+10	2,45E+08	0	0
107	7,87E+02	4,55E+10	3,47E+08	0	0
108	7,87E+02	6,78E+09	8,31E+07	0	0
109	7,87E+02	9,68E+06	1,15E+06	0	0
110	7,87E+02	5,51E+07	4,22E+06	0	0
111	7,87E+02	8,73E+07	5,97E+06	0	0
112	7,87E+02	1,36E+07	1,48E+06	0	0

Tabla AIII 24. Caso E2 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	1,63E+05	5,82E+04	0	0,01
2	7,87E+02	2,78E+05	8,68E+04	0	0,01
3	7,87E+02	5,29E+05	1,41E+05	0	0,01
4	7,87E+02	4,09E+06	6,52E+05	0	0
5	7,87E+02	5,45E+05	1,44E+05	0	0,01
6	7,87E+02	1,28E+06	2,72E+05	0	0
7	7,87E+02	7,81E+06	1,06E+06	0	0
8	7,87E+02	2,73E+08	1,52E+07	0	0
9	7,87E+02	1,00E+05	4,03E+04	0,01	0,02
10	7,87E+02	1,88E+05	6,47E+04	0	0,01
11	7,87E+02	5,51E+05	1,45E+05	0	0,01
12	7,87E+02	7,94E+06	1,07E+06	0	0
13	7,87E+02	3,18E+05	9,60E+04	0	0,01
14	7,87E+02	6,11E+05	1,57E+05	0	0,01
15	7,87E+02	2,13E+06	4,00E+05	0	0
16	7,87E+02	1,12E+07	1,39E+06	0	0
17	7,87E+02	4,81E+05	1,71E+05	0	0
18	7,87E+02	6,26E+05	2,12E+05	0	0
19	7,87E+02	7,41E+05	2,43E+05	0	0
20	7,87E+02	4,87E+05	1,78E+05	0	0
21	7,87E+02	2,73E+07	3,54E+06	0	0
22	7,87E+02	1,31E+07	2,07E+06	0	0
23	7,87E+02	1,94E+07	2,82E+06	0	0
24	7,87E+02	8,41E+06	1,50E+06	0	0
25	7,87E+02	2,83E+06	6,46E+05	0	0
26	7,87E+02	8,13E+06	1,45E+06	0	0
27	7,87E+02	2,35E+07	3,25E+06	0	0
28	7,87E+02	9,76E+06	1,68E+06	0	0
29	7,87E+02	5,33E+05	1,85E+05	0	0
30	7,87E+02	4,33E+05	1,61E+05	0	0
31	7,87E+02	4,48E+05	1,67E+05	0	0
32	7,87E+02	3,11E+05	1,27E+05	0	0,01
33	7,87E+02	1,52E+07	2,40E+06	0	0
34	7,87E+02	2,21E+07	3,16E+06	0	0
35	7,87E+02	2,08E+07	3,03E+06	0	0
36	7,87E+02	1,95E+07	2,88E+06	0	0
37	7,87E+02	1,23E+06	3,63E+05	0	0
38	7,87E+02	3,58E+06	8,08E+05	0	0
39	7,87E+02	1,89E+06	5,00E+05	0	0
40	7,87E+02	6,23E+05	2,18E+05	0	0

41	7,87E+02	9,08E+05	2,89E+05	0	0
42	7,87E+02	3,96E+05	1,55E+05	0	0,01
43	7,87E+02	4,62E+05	1,74E+05	0	0
44	7,87E+02	1,80E+06	4,83E+05	0	0
45	7,87E+02	1,21E+06	3,58E+05	0	0
46	7,87E+02	4,65E+06	9,83E+05	0	0
47	7,87E+02	1,78E+06	4,79E+05	0	0
48	7,87E+02	5,75E+05	2,05E+05	0	0
49	7,87E+02	1,31E+06	3,81E+05	0	0
50	7,87E+02	5,29E+05	1,93E+05	0	0
51	7,87E+02	6,48E+05	2,24E+05	0	0
52	7,87E+02	2,89E+06	6,89E+05	0	0
53	7,87E+02	3,69E+05	1,47E+05	0	0,01
54	7,87E+02	2,23E+06	5,66E+05	0	0
55	7,87E+02	1,11E+06	3,37E+05	0	0
56	7,87E+02	1,32E+05	6,82E+04	0,01	0,01
57	7,87E+02	1,21E+06	3,59E+05	0	0
58	7,87E+02	1,01E+05	5,57E+04	0,01	0,01
59	7,87E+02	2,35E+05	1,05E+05	0	0,01
60	7,87E+02	1,63E+06	4,49E+05	0	0
61	7,87E+02	3,63E+05	1,45E+05	0	0,01
62	7,87E+02	3,69E+06	8,27E+05	0	0
63	7,87E+02	1,47E+06	4,15E+05	0	0
64	7,87E+02	1,53E+05	7,61E+04	0,01	0,01
65	7,87E+02	2,36E+06	5,92E+05	0	0
66	7,87E+02	1,68E+05	8,16E+04	0	0,01
67	7,87E+02	3,03E+05	1,27E+05	0	0,01
68	7,87E+02	2,94E+06	6,98E+05	0	0
69	7,87E+02	2,44E+05	1,08E+05	0	0,01
70	7,87E+02	4,86E+06	1,02E+06	0	0
71	7,87E+02	2,73E+06	6,60E+05	0	0
72	7,87E+02	1,03E+06	3,18E+05	0	0
73	7,87E+02	2,71E+06	6,56E+05	0	0
74	7,87E+02	6,33E+05	2,20E+05	0	0
75	7,87E+02	1,98E+05	9,23E+04	0	0,01
76	7,87E+02	8,02E+06	1,48E+06	0	0
77	7,87E+02	2,31E+05	1,04E+05	0	0,01
78	7,87E+02	7,81E+06	1,45E+06	0	0
79	7,87E+02	2,62E+06	6,40E+05	0	0
80	7,87E+02	9,22E+05	2,92E+05	0	0
81	7,87E+02	3,01E+06	7,09E+05	0	0
82	7,87E+02	6,81E+05	2,33E+05	0	0
83	7,87E+02	2,87E+05	1,22E+05	0	0,01
84	7,87E+02	7,69E+06	1,43E+06	0	0

85	7,87E+02	1,57E+07	2,45E+06	0	0
86	7,87E+02	2,25E+08	1,80E+07	0	0
87	7,87E+02	1,58E+07	2,46E+06	0	0
88	7,87E+02	2,74E+08	2,09E+07	0	0
89	7,87E+02	2,58E+07	3,55E+06	0	0
90	7,87E+02	1,75E+09	8,40E+07	0	0
91	7,87E+02	1,38E+08	1,25E+07	0	0
92	7,87E+02	2,24E+09	1,01E+08	0	0
93	7,87E+02	3,79E+07	4,75E+06	0	0
94	7,87E+02	2,50E+08	1,96E+07	0	0
95	7,87E+02	2,15E+07	3,10E+06	0	0
96	7,87E+02	4,25E+08	2,91E+07	0	0
97	7,87E+02	6,54E+06	1,27E+06	0	0
98	7,87E+02	1,95E+08	1,62E+07	0	0
99	7,87E+02	1,51E+08	1,34E+07	0	0
100	7,87E+02	5,04E+08	3,31E+07	0	0
101	7,87E+02	1,63E+18	4,47E+14	0	0
102	7,87E+02	1,64E+18	4,50E+14	0	0
103	7,87E+02	1,67E+18	4,56E+14	0	0
104	7,87E+02	1,66E+18	4,54E+14	0	0
105	7,87E+02	7,41E+09	8,88E+07	0	0
106	7,87E+02	1,73E+10	1,68E+08	0	0
107	7,87E+02	2,36E+10	2,12E+08	0	0
108	7,87E+02	8,59E+09	9,92E+07	0	0
109	7,87E+02	1,63E+07	1,69E+06	0	0
110	7,87E+02	3,08E+07	2,73E+06	0	0
111	7,87E+02	5,00E+07	3,93E+06	0	0
112	7,87E+02	9,31E+06	1,11E+06	0	0

Tabla AIII 25. Caso E2 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	2,84E+05	8,81E+04	0	0,01
2	7,87E+02	4,69E+05	1,28E+05	0	0,01
3	7,87E+02	1,08E+06	2,40E+05	0	0
4	7,87E+02	7,18E+06	9,94E+05	0	0
5	7,87E+02	2,42E+05	7,82E+04	0	0,01
6	7,87E+02	5,69E+05	1,48E+05	0	0,01
7	7,87E+02	4,06E+06	6,48E+05	0	0
8	7,87E+02	3,78E+07	3,46E+06	0	0
9	7,87E+02	1,78E+05	6,20E+04	0	0,01
10	7,87E+02	3,36E+05	1,00E+05	0	0,01
11	7,87E+02	1,44E+06	2,98E+05	0	0
12	7,87E+02	2,16E+07	2,27E+06	0	0
13	7,87E+02	9,92E+04	4,00E+04	0,01	0,02
14	7,87E+02	1,74E+05	6,11E+04	0	0,01
15	7,87E+02	5,19E+05	1,39E+05	0	0,01
16	7,87E+02	3,14E+06	5,34E+05	0	0
17	7,87E+02	6,69E+05	2,19E+05	0	0
18	7,87E+02	6,47E+05	2,17E+05	0	0
19	7,87E+02	6,91E+05	2,31E+05	0	0
20	7,87E+02	4,84E+05	1,77E+05	0	0
21	7,87E+02	7,97E+06	1,40E+06	0	0
22	7,87E+02	8,94E+06	1,56E+06	0	0
23	7,87E+02	1,32E+07	2,11E+06	0	0
24	7,87E+02	6,71E+06	1,27E+06	0	0
25	7,87E+02	4,86E+06	9,68E+05	0	0
26	7,87E+02	1,13E+07	1,85E+06	0	0
27	7,87E+02	1,52E+07	2,34E+06	0	0
28	7,87E+02	6,86E+06	1,29E+06	0	0
29	7,87E+02	2,75E+05	1,12E+05	0	0,01
30	7,87E+02	2,88E+05	1,19E+05	0	0,01
31	7,87E+02	3,87E+05	1,49E+05	0	0,01
32	7,87E+02	2,80E+05	1,17E+05	0	0,01
33	7,87E+02	3,03E+07	4,01E+06	0	0
34	7,87E+02	1,19E+07	1,99E+06	0	0
35	7,87E+02	4,20E+07	5,13E+06	0	0
36	7,87E+02	1,42E+07	2,27E+06	0	0
37	7,87E+02	2,05E+06	5,33E+05	0	0
38	7,87E+02	6,13E+05	2,15E+05	0	0
39	7,87E+02	8,37E+05	2,72E+05	0	0
40	7,87E+02	7,71E+05	2,56E+05	0	0

41	7,87E+02	2,03E+06	5,28E+05	0	0
42	7,87E+02	5,86E+05	2,08E+05	0	0
43	7,87E+02	7,08E+05	2,40E+05	0	0
44	7,87E+02	7,71E+05	2,55E+05	0	0
45	7,87E+02	4,59E+06	9,73E+05	0	0
46	7,87E+02	9,33E+06	1,66E+06	0	0
47	7,87E+02	5,49E+06	1,11E+06	0	0
48	7,87E+02	6,34E+06	1,24E+06	0	0
49	7,87E+02	1,79E+06	4,81E+05	0	0
50	7,87E+02	2,76E+06	6,65E+05	0	0
51	7,87E+02	2,42E+06	6,03E+05	0	0
52	7,87E+02	4,75E+06	1,00E+06	0	0
53	7,87E+02	1,26E+06	3,70E+05	0	0
54	7,87E+02	5,35E+05	1,94E+05	0	0
55	7,87E+02	1,12E+06	3,38E+05	0	0
56	7,87E+02	2,86E+05	1,21E+05	0	0,01
57	7,87E+02	1,31E+06	3,80E+05	0	0
58	7,87E+02	3,58E+05	1,44E+05	0	0,01
59	7,87E+02	7,49E+05	2,50E+05	0	0
60	7,87E+02	3,75E+05	1,49E+05	0	0,01
61	7,87E+02	8,67E+05	2,79E+05	0	0
62	7,87E+02	1,05E+06	3,23E+05	0	0
63	7,87E+02	9,25E+05	2,93E+05	0	0
64	7,87E+02	1,04E+06	3,19E+05	0	0
65	7,87E+02	1,01E+06	3,12E+05	0	0
66	7,87E+02	1,23E+06	3,64E+05	0	0
67	7,87E+02	9,93E+05	3,09E+05	0	0
68	7,87E+02	1,02E+06	3,16E+05	0	0
69	7,87E+02	1,13E+06	3,41E+05	0	0
70	7,87E+02	3,98E+06	8,75E+05	0	0
71	7,87E+02	1,90E+06	5,02E+05	0	0
72	7,87E+02	9,46E+06	1,68E+06	0	0
73	7,87E+02	1,20E+06	3,57E+05	0	0
74	7,87E+02	5,66E+06	1,14E+06	0	0
75	7,87E+02	1,73E+06	4,69E+05	0	0
76	7,87E+02	1,08E+07	1,86E+06	0	0
77	7,87E+02	4,79E+05	1,79E+05	0	0
78	7,87E+02	9,44E+05	2,97E+05	0	0
79	7,87E+02	4,98E+05	1,84E+05	0	0
80	7,87E+02	8,54E+05	2,76E+05	0	0
81	7,87E+02	5,81E+05	2,07E+05	0	0
82	7,87E+02	1,29E+06	3,76E+05	0	0
83	7,87E+02	4,66E+05	1,75E+05	0	0
84	7,87E+02	1,06E+06	3,24E+05	0	0

85	7,87E+02	3,88E+06	8,59E+05	0	0
86	7,87E+02	3,22E+08	2,36E+07	0	0
87	7,87E+02	1,92E+07	2,85E+06	0	0
88	7,87E+02	3,66E+08	2,60E+07	0	0
89	7,87E+02	2,06E+07	3,00E+06	0	0
90	7,87E+02	1,80E+09	8,60E+07	0	0
91	7,87E+02	3,87E+07	4,82E+06	0	0
92	7,87E+02	2,95E+09	1,24E+08	0	0
93	7,87E+02	6,22E+07	6,88E+06	0	0
94	7,87E+02	3,96E+08	2,76E+07	0	0
95	7,87E+02	1,68E+08	1,45E+07	0	0
96	7,87E+02	6,56E+08	4,02E+07	0	0
97	7,87E+02	4,26E+07	5,18E+06	0	0
98	7,87E+02	3,03E+08	2,25E+07	0	0
99	7,87E+02	1,42E+08	1,28E+07	0	0
100	7,87E+02	5,96E+08	3,75E+07	0	0
101	7,87E+02	1,51E+18	4,24E+14	0	0
102	7,87E+02	1,54E+18	4,30E+14	0	0
103	7,87E+02	1,48E+18	4,17E+14	0	0
104	7,87E+02	1,54E+18	4,30E+14	0	0
105	7,87E+02	1,60E+10	1,58E+08	0	0
106	7,87E+02	7,13E+09	8,63E+07	0	0
107	7,87E+02	7,52E+09	8,98E+07	0	0
108	7,87E+02	1,20E+10	1,27E+08	0	0
109	7,87E+02	2,61E+07	2,41E+06	0	0
110	7,87E+02	8,26E+06	1,02E+06	0	0
111	7,87E+02	1,42E+07	1,53E+06	0	0
112	7,87E+02	1,51E+07	1,60E+06	0	0

Tabla AIII 26. Caso E3 jacket diseñado, con cargas alineadas a 0° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	2,03E+06	3,85E+05	0	0
2	7,87E+02	2,91E+06	5,04E+05	0	0
3	7,87E+02	3,82E+06	6,19E+05	0	0
4	7,87E+02	1,66E+07	1,86E+06	0	0
5	7,87E+02	2,16E+06	4,04E+05	0	0
6	7,87E+02	2,28E+06	4,21E+05	0	0
7	7,87E+02	2,66E+06	4,71E+05	0	0
8	7,87E+02	8,39E+06	1,12E+06	0	0
9	7,87E+02	2,11E+06	3,97E+05	0	0
10	7,87E+02	2,54E+06	4,57E+05	0	0
11	7,87E+02	2,97E+06	5,13E+05	0	0
12	7,87E+02	9,15E+06	1,19E+06	0	0
13	7,87E+02	1,34E+06	2,82E+05	0	0
14	7,87E+02	2,02E+06	3,83E+05	0	0
15	7,87E+02	3,24E+06	5,47E+05	0	0
16	7,87E+02	1,44E+07	1,68E+06	0	0
17	7,87E+02	9,06E+05	2,75E+05	0	0
18	7,87E+02	7,59E+05	2,45E+05	0	0
19	7,87E+02	7,89E+05	2,55E+05	0	0
20	7,87E+02	5,44E+05	1,93E+05	0	0
21	7,87E+02	3,69E+05	1,40E+05	0	0,01
22	7,87E+02	2,78E+05	1,16E+05	0	0,01
23	7,87E+02	2,83E+05	1,18E+05	0	0,01
24	7,87E+02	2,22E+05	9,83E+04	0	0,01
25	7,87E+02	4,26E+05	1,56E+05	0	0,01
26	7,87E+02	3,34E+05	1,32E+05	0	0,01
27	7,87E+02	3,28E+05	1,32E+05	0	0,01
28	7,87E+02	1,87E+05	8,65E+04	0	0,01
29	7,87E+02	6,80E+05	2,22E+05	0	0
30	7,87E+02	5,32E+05	1,88E+05	0	0
31	7,87E+02	5,39E+05	1,92E+05	0	0
32	7,87E+02	3,82E+05	1,48E+05	0	0,01
33	7,87E+02	4,82E+07	5,69E+06	0	0
34	7,87E+02	1,60E+08	1,39E+07	0	0
35	7,87E+02	5,54E+07	6,31E+06	0	0
36	7,87E+02	1,27E+08	1,18E+07	0	0
37	7,87E+02	2,26E+07	3,22E+06	0	0
38	7,87E+02	2,72E+07	3,70E+06	0	0
39	7,87E+02	4,65E+07	5,53E+06	0	0
40	7,87E+02	5,45E+07	6,23E+06	0	0

41	7,87E+02	2,70E+07	3,68E+06	0	0
42	7,87E+02	3,46E+07	4,43E+06	0	0
43	7,87E+02	1,90E+07	2,83E+06	0	0
44	7,87E+02	2,56E+07	3,53E+06	0	0
45	7,87E+02	2,00E+07	2,93E+06	0	0
46	7,87E+02	9,91E+06	1,74E+06	0	0
47	7,87E+02	8,53E+06	1,55E+06	0	0
48	7,87E+02	1,02E+07	1,78E+06	0	0
49	7,87E+02	1,12E+07	1,90E+06	0	0
50	7,87E+02	1,31E+07	2,14E+06	0	0
51	7,87E+02	1,25E+07	2,07E+06	0	0
52	7,87E+02	1,63E+07	2,52E+06	0	0
53	7,87E+02	5,78E+06	1,16E+06	0	0
54	7,87E+02	5,68E+06	1,14E+06	0	0
55	7,87E+02	9,98E+06	1,74E+06	0	0
56	7,87E+02	1,04E+07	1,80E+06	0	0
57	7,87E+02	1,28E+07	2,10E+06	0	0
58	7,87E+02	7,85E+06	1,46E+06	0	0
59	7,87E+02	8,72E+06	1,58E+06	0	0
60	7,87E+02	7,07E+06	1,35E+06	0	0
61	7,87E+02	2,08E+07	3,03E+06	0	0
62	7,87E+02	5,71E+06	1,15E+06	0	0
63	7,87E+02	8,22E+06	1,51E+06	0	0
64	7,87E+02	2,46E+06	6,10E+05	0	0
65	7,87E+02	1,05E+07	1,82E+06	0	0
66	7,87E+02	7,04E+06	1,34E+06	0	0
67	7,87E+02	1,26E+07	2,08E+06	0	0
68	7,87E+02	3,72E+06	8,32E+05	0	0
69	7,87E+02	3,79E+06	8,43E+05	0	0
70	7,87E+02	7,34E+06	1,38E+06	0	0
71	7,87E+02	2,73E+06	6,60E+05	0	0
72	7,87E+02	4,89E+06	1,02E+06	0	0
73	7,87E+02	4,96E+06	1,03E+06	0	0
74	7,87E+02	1,17E+07	1,97E+06	0	0
75	7,87E+02	5,99E+06	1,19E+06	0	0
76	7,87E+02	1,06E+07	1,82E+06	0	0
77	7,87E+02	9,38E+06	1,67E+06	0	0
78	7,87E+02	1,85E+07	2,77E+06	0	0
79	7,87E+02	1,63E+07	2,52E+06	0	0
80	7,87E+02	5,47E+07	6,25E+06	0	0
81	7,87E+02	1,43E+07	2,29E+06	0	0
82	7,87E+02	3,03E+07	4,01E+06	0	0
83	7,87E+02	2,20E+07	3,15E+06	0	0
84	7,87E+02	2,69E+07	3,66E+06	0	0

85	7,87E+02	2,44E+07	3,41E+06	0	0
86	7,87E+02	2,31E+08	1,84E+07	0	0
87	7,87E+02	2,33E+07	3,30E+06	0	0
88	7,87E+02	4,63E+08	3,10E+07	0	0
89	7,87E+02	7,14E+06	1,36E+06	0	0
90	7,87E+02	9,41E+07	9,38E+06	0	0
91	7,87E+02	1,83E+07	2,75E+06	0	0
92	7,87E+02	3,58E+08	2,55E+07	0	0
93	7,87E+02	2,86E+07	3,84E+06	0	0
94	7,87E+02	5,47E+08	3,52E+07	0	0
95	7,87E+02	4,55E+07	5,44E+06	0	0
96	7,87E+02	2,80E+08	2,12E+07	0	0
97	7,87E+02	1,76E+07	2,67E+06	0	0
98	7,87E+02	2,15E+08	1,75E+07	0	0
99	7,87E+02	2,94E+07	3,93E+06	0	0
100	7,87E+02	1,00E+08	9,84E+06	0	0
101	7,87E+02	1,34E+18	3,86E+14	0	0
102	7,87E+02	1,33E+18	3,85E+14	0	0
103	7,87E+02	1,30E+18	3,77E+14	0	0
104	7,87E+02	1,30E+18	3,79E+14	0	0
105	7,87E+02	1,22E+11	7,27E+08	0	0
106	7,87E+02	1,63E+11	9,03E+08	0	0
107	7,87E+02	2,71E+11	1,32E+09	0	0
108	7,87E+02	1,84E+11	9,89E+08	0	0
109	7,87E+02	2,39E+08	1,27E+07	0	0
110	7,87E+02	1,56E+08	9,21E+06	0	0
111	7,87E+02	2,58E+08	1,35E+07	0	0
112	7,87E+02	2,20E+08	1,20E+07	0	0

Tabla AIII 27. Caso E3 jacket diseñado, con cargas alineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	7,25E+05	1,78E+05	0	0
2	7,87E+02	1,11E+06	2,44E+05	0	0
3	7,87E+02	1,55E+06	3,15E+05	0	0
4	7,87E+02	8,48E+06	1,13E+06	0	0
5	7,87E+02	7,27E+06	1,00E+06	0	0
6	7,87E+02	1,31E+07	1,56E+06	0	0
7	7,87E+02	3,12E+07	2,99E+06	0	0
8	7,87E+02	1,58E+08	1,01E+07	0	0
9	7,87E+02	1,05E+06	2,35E+05	0	0
10	7,87E+02	1,20E+06	2,60E+05	0	0
11	7,87E+02	1,35E+06	2,85E+05	0	0
12	7,87E+02	3,85E+06	6,22E+05	0	0
13	7,87E+02	4,86E+06	7,41E+05	0	0
14	7,87E+02	9,40E+06	1,22E+06	0	0
15	7,87E+02	2,17E+07	2,28E+06	0	0
16	7,87E+02	9,86E+07	7,09E+06	0	0
17	7,87E+02	4,16E+05	1,53E+05	0	0,01
18	7,87E+02	3,30E+05	1,31E+05	0	0,01
19	7,87E+02	3,21E+05	1,30E+05	0	0,01
20	7,87E+02	2,18E+05	9,72E+04	0	0,01
21	7,87E+02	8,00E+06	1,41E+06	0	0
22	7,87E+02	6,51E+06	1,23E+06	0	0
23	7,87E+02	6,95E+06	1,30E+06	0	0
24	7,87E+02	3,33E+06	7,50E+05	0	0
25	7,87E+02	1,60E+05	7,48E+04	0	0,01
26	7,87E+02	1,24E+05	6,29E+04	0,01	0,01
27	7,87E+02	1,24E+05	6,36E+04	0,01	0,01
28	7,87E+02	9,64E+04	5,27E+04	0,01	0,01
29	7,87E+02	4,62E+06	9,33E+05	0	0
30	7,87E+02	3,00E+06	6,87E+05	0	0
31	7,87E+02	3,84E+06	8,35E+05	0	0
32	7,87E+02	2,03E+06	5,18E+05	0	0
33	7,87E+02	7,42E+07	7,85E+06	0	0
34	7,87E+02	8,23E+07	8,49E+06	0	0
35	7,87E+02	6,43E+07	7,05E+06	0	0
36	7,87E+02	9,04E+07	9,11E+06	0	0
37	7,87E+02	6,71E+06	1,29E+06	0	0
38	7,87E+02	1,35E+07	2,19E+06	0	0
39	7,87E+02	1,53E+07	2,40E+06	0	0
40	7,87E+02	1,01E+07	1,76E+06	0	0

41	7,87E+02	2,97E+07	3,95E+06	0	0
42	7,87E+02	1,34E+07	2,18E+06	0	0
43	7,87E+02	1,23E+07	2,05E+06	0	0
44	7,87E+02	3,42E+07	4,39E+06	0	0
45	7,87E+02	1,36E+07	2,21E+06	0	0
46	7,87E+02	3,28E+07	4,26E+06	0	0
47	7,87E+02	3,10E+07	4,08E+06	0	0
48	7,87E+02	2,41E+07	3,38E+06	0	0
49	7,87E+02	2,06E+07	3,00E+06	0	0
50	7,87E+02	2,36E+07	3,33E+06	0	0
51	7,87E+02	2,12E+07	3,06E+06	0	0
52	7,87E+02	6,09E+07	6,77E+06	0	0
53	7,87E+02	4,58E+06	9,72E+05	0	0
54	7,87E+02	1,29E+07	2,12E+06	0	0
55	7,87E+02	3,42E+07	4,40E+06	0	0
56	7,87E+02	5,00E+06	1,04E+06	0	0
57	7,87E+02	2,74E+07	3,72E+06	0	0
58	7,87E+02	4,54E+06	9,66E+05	0	0
59	7,87E+02	7,63E+06	1,43E+06	0	0
60	7,87E+02	2,97E+07	3,95E+06	0	0
61	7,87E+02	9,68E+06	1,70E+06	0	0
62	7,87E+02	4,63E+07	5,51E+06	0	0
63	7,87E+02	1,63E+07	2,52E+06	0	0
64	7,87E+02	4,24E+06	9,18E+05	0	0
65	7,87E+02	1,85E+07	2,77E+06	0	0
66	7,87E+02	4,53E+06	9,65E+05	0	0
67	7,87E+02	1,12E+07	1,90E+06	0	0
68	7,87E+02	4,13E+07	5,06E+06	0	0
69	7,87E+02	9,04E+06	1,62E+06	0	0
70	7,87E+02	6,22E+07	6,88E+06	0	0
71	7,87E+02	5,10E+07	5,93E+06	0	0
72	7,87E+02	1,77E+07	2,68E+06	0	0
73	7,87E+02	9,75E+07	9,64E+06	0	0
74	7,87E+02	1,74E+07	2,64E+06	0	0
75	7,87E+02	9,55E+06	1,69E+06	0	0
76	7,87E+02	4,99E+07	5,83E+06	0	0
77	7,87E+02	5,71E+06	1,15E+06	0	0
78	7,87E+02	4,70E+07	5,57E+06	0	0
79	7,87E+02	4,42E+07	5,32E+06	0	0
80	7,87E+02	2,75E+07	3,73E+06	0	0
81	7,87E+02	6,83E+07	7,38E+06	0	0
82	7,87E+02	9,23E+06	1,65E+06	0	0
83	7,87E+02	1,27E+07	2,10E+06	0	0
84	7,87E+02	6,12E+07	6,79E+06	0	0

85	7,87E+02	1,68E+07	2,58E+06	0	0
86	7,87E+02	2,32E+08	1,85E+07	0	0
87	7,87E+02	5,48E+07	6,26E+06	0	0
88	7,87E+02	3,87E+08	2,71E+07	0	0
89	7,87E+02	3,10E+07	4,08E+06	0	0
90	7,87E+02	1,37E+08	1,25E+07	0	0
91	7,87E+02	1,34E+07	2,17E+06	0	0
92	7,87E+02	2,63E+08	2,03E+07	0	0
93	7,87E+02	2,56E+07	3,53E+06	0	0
94	7,87E+02	4,47E+08	3,02E+07	0	0
95	7,87E+02	4,29E+07	5,21E+06	0	0
96	7,87E+02	2,23E+08	1,79E+07	0	0
97	7,87E+02	8,91E+07	9,01E+06	0	0
98	7,87E+02	6,15E+08	3,84E+07	0	0
99	7,87E+02	6,72E+06	1,30E+06	0	0
100	7,87E+02	7,99E+07	8,30E+06	0	0
101	7,87E+02	1,37E+18	3,93E+14	0	0
102	7,87E+02	1,33E+18	3,86E+14	0	0
103	7,87E+02	1,36E+18	3,90E+14	0	0
104	7,87E+02	1,29E+18	3,76E+14	0	0
105	7,87E+02	1,22E+11	7,24E+08	0	0
106	7,87E+02	2,00E+11	1,05E+09	0	0
107	7,87E+02	3,72E+11	1,67E+09	0	0
108	7,87E+02	6,36E+10	4,46E+08	0	0
109	7,87E+02	8,40E+07	5,80E+06	0	0
110	7,87E+02	4,05E+08	1,89E+07	0	0
111	7,87E+02	6,84E+08	2,80E+07	0	0
112	7,87E+02	1,08E+08	6,99E+06	0	0

Tabla AIII 28. Caso E3 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 45° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	1,08E+06	2,41E+05	0	0
2	7,87E+02	1,63E+06	3,27E+05	0	0
3	7,87E+02	2,29E+06	4,22E+05	0	0
4	7,87E+02	1,40E+07	1,64E+06	0	0
5	7,87E+02	3,74E+06	6,09E+05	0	0
6	7,87E+02	3,04E+06	5,21E+05	0	0
7	7,87E+02	3,60E+06	5,92E+05	0	0
8	7,87E+02	9,35E+06	1,21E+06	0	0
9	7,87E+02	1,86E+06	3,60E+05	0	0
10	7,87E+02	2,11E+06	3,97E+05	0	0
11	7,87E+02	2,44E+06	4,42E+05	0	0
12	7,87E+02	8,50E+06	1,13E+06	0	0
13	7,87E+02	2,62E+06	4,67E+05	0	0
14	7,87E+02	3,79E+06	6,16E+05	0	0
15	7,87E+02	5,16E+06	7,76E+05	0	0
16	7,87E+02	1,56E+07	1,77E+06	0	0
17	7,87E+02	8,47E+05	2,61E+05	0	0
18	7,87E+02	6,98E+05	2,30E+05	0	0
19	7,87E+02	7,45E+05	2,44E+05	0	0
20	7,87E+02	5,04E+05	1,82E+05	0	0
21	7,87E+02	3,90E+05	1,46E+05	0	0,01
22	7,87E+02	2,96E+05	1,21E+05	0	0,01
23	7,87E+02	2,91E+05	1,21E+05	0	0,01
24	7,87E+02	2,29E+05	1,01E+05	0	0,01
25	7,87E+02	4,04E+05	1,50E+05	0	0,01
26	7,87E+02	3,21E+05	1,28E+05	0	0,01
27	7,87E+02	3,21E+05	1,30E+05	0	0,01
28	7,87E+02	1,87E+05	8,67E+04	0	0,01
29	7,87E+02	6,84E+05	2,23E+05	0	0
30	7,87E+02	5,22E+05	1,85E+05	0	0
31	7,87E+02	4,86E+05	1,77E+05	0	0
32	7,87E+02	3,46E+05	1,37E+05	0	0,01
33	7,87E+02	5,57E+07	6,34E+06	0	0
34	7,87E+02	7,70E+07	8,08E+06	0	0
35	7,87E+02	7,23E+07	7,70E+06	0	0
36	7,87E+02	7,61E+07	8,00E+06	0	0
37	7,87E+02	9,09E+06	1,63E+06	0	0
38	7,87E+02	1,60E+07	2,48E+06	0	0
39	7,87E+02	2,06E+07	3,00E+06	0	0
40	7,87E+02	1,37E+07	2,21E+06	0	0

41	7,87E+02	1,52E+07	2,39E+06	0	0
42	7,87E+02	7,42E+06	1,40E+06	0	0
43	7,87E+02	6,41E+06	1,25E+06	0	0
44	7,87E+02	1,86E+07	2,78E+06	0	0
45	7,87E+02	2,17E+07	3,12E+06	0	0
46	7,87E+02	5,43E+07	6,21E+06	0	0
47	7,87E+02	2,07E+07	3,01E+06	0	0
48	7,87E+02	1,64E+07	2,53E+06	0	0
49	7,87E+02	2,09E+07	3,04E+06	0	0
50	7,87E+02	1,22E+07	2,03E+06	0	0
51	7,87E+02	1,18E+07	1,97E+06	0	0
52	7,87E+02	3,42E+07	4,40E+06	0	0
53	7,87E+02	5,42E+06	1,10E+06	0	0
54	7,87E+02	1,32E+07	2,15E+06	0	0
55	7,87E+02	1,34E+07	2,17E+06	0	0
56	7,87E+02	2,49E+06	6,16E+05	0	0
57	7,87E+02	2,37E+07	3,34E+06	0	0
58	7,87E+02	1,85E+06	4,93E+05	0	0
59	7,87E+02	3,97E+06	8,73E+05	0	0
60	7,87E+02	1,91E+07	2,84E+06	0	0
61	7,87E+02	9,20E+06	1,64E+06	0	0
62	7,87E+02	7,43E+07	7,86E+06	0	0
63	7,87E+02	1,63E+07	2,52E+06	0	0
64	7,87E+02	2,64E+06	6,43E+05	0	0
65	7,87E+02	1,36E+07	2,20E+06	0	0
66	7,87E+02	3,68E+06	8,25E+05	0	0
67	7,87E+02	5,30E+06	1,09E+06	0	0
68	7,87E+02	2,98E+07	3,96E+06	0	0
69	7,87E+02	4,01E+06	8,80E+05	0	0
70	7,87E+02	2,57E+07	3,55E+06	0	0
71	7,87E+02	2,59E+07	3,57E+06	0	0
72	7,87E+02	1,04E+07	1,80E+06	0	0
73	7,87E+02	3,83E+07	4,78E+06	0	0
74	7,87E+02	9,15E+06	1,63E+06	0	0
75	7,87E+02	3,12E+06	7,30E+05	0	0
76	7,87E+02	1,21E+07	2,01E+06	0	0
77	7,87E+02	2,92E+06	6,94E+05	0	0
78	7,87E+02	5,17E+07	5,99E+06	0	0
79	7,87E+02	2,49E+07	3,47E+06	0	0
80	7,87E+02	1,17E+07	1,97E+06	0	0
81	7,87E+02	4,49E+07	5,39E+06	0	0
82	7,87E+02	7,04E+06	1,34E+06	0	0
83	7,87E+02	3,76E+06	8,38E+05	0	0
84	7,87E+02	3,70E+07	4,66E+06	0	0

85	7,87E+02	2,00E+07	2,93E+06	0	0
86	7,87E+02	2,32E+08	1,85E+07	0	0
87	7,87E+02	2,12E+07	3,07E+06	0	0
88	7,87E+02	4,23E+08	2,90E+07	0	0
89	7,87E+02	7,17E+06	1,36E+06	0	0
90	7,87E+02	9,53E+07	9,48E+06	0	0
91	7,87E+02	2,00E+07	2,94E+06	0	0
92	7,87E+02	3,46E+08	2,49E+07	0	0
93	7,87E+02	5,81E+07	6,54E+06	0	0
94	7,87E+02	4,94E+08	3,26E+07	0	0
95	7,87E+02	4,03E+07	4,97E+06	0	0
96	7,87E+02	2,62E+08	2,02E+07	0	0
97	7,87E+02	2,55E+07	3,52E+06	0	0
98	7,87E+02	2,55E+08	1,99E+07	0	0
99	7,87E+02	2,99E+07	3,97E+06	0	0
100	7,87E+02	1,09E+08	1,05E+07	0	0
101	7,87E+02	1,36E+18	3,90E+14	0	0
102	7,87E+02	1,35E+18	3,89E+14	0	0
103	7,87E+02	1,31E+18	3,81E+14	0	0
104	7,87E+02	1,32E+18	3,82E+14	0	0
105	7,87E+02	1,20E+11	7,15E+08	0	0
106	7,87E+02	1,64E+11	9,06E+08	0	0
107	7,87E+02	3,18E+11	1,49E+09	0	0
108	7,87E+02	1,04E+11	6,45E+08	0	0
109	7,87E+02	1,33E+08	8,17E+06	0	0
110	7,87E+02	2,61E+08	1,36E+07	0	0
111	7,87E+02	4,12E+08	1,91E+07	0	0
112	7,87E+02	2,09E+08	1,15E+07	0	0

Tabla AIII 29. Caso E3 jacket diseñado, con cargas desalineadas a 90° (ELF)

Fatiga a 50 años					
ID barras	Recibe	Resiste barra	Resiste unión	$\eta_{barra}$	$\eta_{unión}$
1	7,87E+02	1,58E+06	3,19E+05	0	0
2	7,87E+02	2,36E+06	4,31E+05	0	0
3	7,87E+02	3,64E+06	5,97E+05	0	0
4	7,87E+02	1,35E+07	1,59E+06	0	0
5	7,87E+02	3,63E+06	5,96E+05	0	0
6	7,87E+02	3,40E+06	5,67E+05	0	0
7	7,87E+02	3,98E+06	6,38E+05	0	0
8	7,87E+02	1,05E+07	1,32E+06	0	0
9	7,87E+02	2,01E+06	3,83E+05	0	0
10	7,87E+02	2,11E+06	3,97E+05	0	0
11	7,87E+02	2,44E+06	4,42E+05	0	0
12	7,87E+02	8,14E+06	1,09E+06	0	0
13	7,87E+02	8,84E+05	2,07E+05	0	0
14	7,87E+02	1,31E+06	2,78E+05	0	0
15	7,87E+02	1,99E+06	3,80E+05	0	0
16	7,87E+02	9,16E+06	1,19E+06	0	0
17	7,87E+02	7,77E+05	2,45E+05	0	0
18	7,87E+02	6,33E+05	2,14E+05	0	0
19	7,87E+02	6,35E+05	2,17E+05	0	0
20	7,87E+02	4,49E+05	1,67E+05	0	0
21	7,87E+02	4,01E+05	1,49E+05	0	0,01
22	7,87E+02	3,09E+05	1,25E+05	0	0,01
23	7,87E+02	2,92E+05	1,21E+05	0	0,01
24	7,87E+02	2,28E+05	1,01E+05	0	0,01
25	7,87E+02	3,65E+05	1,39E+05	0	0,01
26	7,87E+02	2,84E+05	1,17E+05	0	0,01
27	7,87E+02	2,84E+05	1,18E+05	0	0,01
28	7,87E+02	1,80E+05	8,41E+04	0	0,01
29	7,87E+02	6,03E+05	2,03E+05	0	0
30	7,87E+02	5,13E+05	1,83E+05	0	0
31	7,87E+02	4,51E+05	1,68E+05	0	0
32	7,87E+02	3,23E+05	1,30E+05	0	0,01
33	7,87E+02	1,35E+08	1,23E+07	0	0
34	7,87E+02	4,63E+07	5,51E+06	0	0
35	7,87E+02	1,41E+08	1,27E+07	0	0
36	7,87E+02	6,34E+07	6,98E+06	0	0
37	7,87E+02	1,13E+07	1,92E+06	0	0
38	7,87E+02	1,17E+07	1,96E+06	0	0
39	7,87E+02	1,09E+07	1,86E+06	0	0
40	7,87E+02	1,45E+07	2,31E+06	0	0

41	7,87E+02	1,90E+07	2,82E+06	0	0
42	7,87E+02	1,01E+07	1,77E+06	0	0
43	7,87E+02	8,37E+06	1,53E+06	0	0
44	7,87E+02	1,57E+07	2,45E+06	0	0
45	7,87E+02	5,77E+07	6,50E+06	0	0
46	7,87E+02	8,56E+07	8,75E+06	0	0
47	7,87E+02	4,73E+07	5,60E+06	0	0
48	7,87E+02	5,61E+07	6,37E+06	0	0
49	7,87E+02	2,26E+07	3,22E+06	0	0
50	7,87E+02	3,26E+07	4,23E+06	0	0
51	7,87E+02	4,20E+07	5,13E+06	0	0
52	7,87E+02	7,53E+07	7,94E+06	0	0
53	7,87E+02	9,36E+06	1,66E+06	0	0
54	7,87E+02	6,55E+06	1,27E+06	0	0
55	7,87E+02	8,99E+06	1,61E+06	0	0
56	7,87E+02	2,61E+06	6,39E+05	0	0
57	7,87E+02	2,30E+07	3,26E+06	0	0
58	7,87E+02	4,37E+06	9,39E+05	0	0
59	7,87E+02	7,61E+06	1,42E+06	0	0
60	7,87E+02	3,89E+06	8,61E+05	0	0
61	7,87E+02	1,05E+07	1,81E+06	0	0
62	7,87E+02	1,38E+07	2,22E+06	0	0
63	7,87E+02	1,42E+07	2,28E+06	0	0
64	7,87E+02	1,35E+07	2,19E+06	0	0
65	7,87E+02	1,12E+07	1,90E+06	0	0
66	7,87E+02	1,29E+07	2,11E+06	0	0
67	7,87E+02	1,62E+07	2,51E+06	0	0
68	7,87E+02	1,78E+07	2,69E+06	0	0
69	7,87E+02	1,02E+07	1,78E+06	0	0
70	7,87E+02	1,50E+07	2,37E+06	0	0
71	7,87E+02	1,46E+07	2,32E+06	0	0
72	7,87E+02	2,38E+07	3,34E+06	0	0
73	7,87E+02	1,31E+07	2,13E+06	0	0
74	7,87E+02	1,84E+07	2,76E+06	0	0
75	7,87E+02	1,32E+07	2,15E+06	0	0
76	7,87E+02	1,13E+07	1,91E+06	0	0
77	7,87E+02	3,99E+06	8,77E+05	0	0
78	7,87E+02	8,36E+06	1,53E+06	0	0
79	7,87E+02	5,04E+06	1,04E+06	0	0
80	7,87E+02	7,04E+06	1,34E+06	0	0
81	7,87E+02	5,67E+06	1,14E+06	0	0
82	7,87E+02	1,19E+07	2,00E+06	0	0
83	7,87E+02	4,10E+06	8,95E+05	0	0
84	7,87E+02	8,99E+06	1,61E+06	0	0

85	7,87E+02	1,22E+07	2,03E+06	0	0
86	7,87E+02	2,41E+08	1,90E+07	0	0
87	7,87E+02	2,02E+07	2,97E+06	0	0
88	7,87E+02	4,43E+08	3,00E+07	0	0
89	7,87E+02	7,60E+06	1,42E+06	0	0
90	7,87E+02	1,06E+08	1,03E+07	0	0
91	7,87E+02	1,80E+07	2,72E+06	0	0
92	7,87E+02	3,31E+08	2,41E+07	0	0
93	7,87E+02	5,86E+07	6,58E+06	0	0
94	7,87E+02	5,08E+08	3,32E+07	0	0
95	7,87E+02	3,63E+07	4,60E+06	0	0
96	7,87E+02	2,41E+08	1,90E+07	0	0
97	7,87E+02	3,57E+07	4,53E+06	0	0
98	7,87E+02	2,43E+08	1,91E+07	0	0
99	7,87E+02	2,71E+07	3,69E+06	0	0
100	7,87E+02	1,04E+08	1,01E+07	0	0
101	7,87E+02	1,37E+18	3,93E+14	0	0
102	7,87E+02	1,36E+18	3,92E+14	0	0
103	7,87E+02	1,33E+18	3,84E+14	0	0
104	7,87E+02	1,33E+18	3,84E+14	0	0
105	7,87E+02	1,47E+11	8,33E+08	0	0
106	7,87E+02	1,12E+11	6,82E+08	0	0
107	7,87E+02	1,15E+11	6,96E+08	0	0
108	7,87E+02	2,45E+11	1,23E+09	0	0
109	7,87E+02	1,86E+08	1,05E+07	0	0
110	7,87E+02	9,25E+07	6,23E+06	0	0
111	7,87E+02	2,44E+08	1,29E+07	0	0
112	7,87E+02	2,24E+08	1,21E+07	0	0

**Universidad de Las Palmas de Gran Canaria**  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES Y CIVILES  
GRADOS EN INGENIERÍA MECÁNICA

## Anexo IV. Código desarrollado

---

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SUBESTRUCTURA TIPO JACKET  
PARA EL AEROGENERADOR MARINO NREL 5MW

Trabajo de Fin de Grado

**Autor:** Saulo Manuel Román Cabrera

**Tutores:** Luis A. Padrón Hernández y Carlos Romero Sánchez

## Índice de contenido

1. Script código desarrollado

```

1 clear variables
2 clear functions
3 close all
4 clear all;
5 clc
6
7 %%
8 Num_elementos = 112;
9 Num_nodo=7;
10 Num=Num_elementos*Num_nodo;
11 Vector_secuencia= repelem((1:Num_elementos),Num_nodo); % Vector con cadena de
secuencia
12
13 %% Cases for analysis
14
15 jacket = ["NRELOffshrbaseline5MW_OC4Jacket"];
16 base = [""];
17 modo = [""];
18 load=[""];
19 direccion = [""];
20
21 %% Determinación de variables
22
23 for ij = 1:length(jacket)
24
25     FileJacket = "SubDyn_Saulo.txt";
26     modelo=leer_datos_jacket_saulo(FileJacket);
27
28     % Desprecio elementos SLPM
29     init_data.nelemsub = modelo.n_elementos;
30     init_data.n_nodos = modelo.n_nodos;
31
32     % Asignación de variables
33     init_elem.D1 = zeros(modelo.n_elementos,1);
34     init_elem.D2= zeros(modelo.n_elementos,1);
35     init_elem.t1= zeros(modelo.n_elementos,1);
36     init_elem.t2= zeros(modelo.n_elementos,1);
37     init_elem.shear = zeros(modelo.n_elementos,1);
38     init_elem.E= zeros(modelo.n_elementos,1);
39     init_elem.G= zeros(modelo.n_elementos,1);
40     init_elem.rho= zeros(modelo.n_elementos,1);
41     init_elem.slpm =zeros(modelo.n_elementos,1) ;
42     init_elem.L= zeros(modelo.n_elementos,1) ;
43     init_elem.D_x = zeros(modelo.n_elementos,1);
44     init_elem.D_y = zeros(modelo.n_elementos,1);
45     init_elem.D_z = zeros(modelo.n_elementos,1);
46     init_elem. A_pandeo = zeros(modelo.n_elementos,1);
47     init_elem.D_xy = zeros(modelo.n_elementos,1);
48     init_elem.ni = zeros(modelo.n_elementos,1);
49     init_elem.nj = zeros(modelo.n_elementos,1);
50
51     for ke=1:modelo.n_elementos
52
53         % Datos basicos del elemento
54         ni=modelo.elementos_nodos(ke,1);
55         nj=modelo.elementos_nodos(ke,2);
56         % Vector de posicion nodo i
57         x_i=modelo.nodos_x(ni,1);
58         y_i=modelo.nodos_x(ni,2);
59         z_i=modelo.nodos_x(ni,3);

```

```

60     % Vector de posicion nodo j
61     x_j=modelo.nodos_x(nj,1);
62     y_j=modelo.nodos_x(nj,2);
63     z_j=modelo.nodos_x(nj,3);
64
65
66     D_x=x_j-x_i ;
67     D_y=y_j-y_i ;
68     D_z=(z_j-z_i);
69     A_pandeo =((z_i+z_j)/2);           % Alturas
70     D_xy = sqrt( D_x^2 + D_y^2 ) ;
71     L= sqrt( D_x^2 + D_y^2 + D_z^2);   % Longitud
72
73     % Seleccionar elementos iniciales del SubDyn
74     s=modelo.elementos_seccion(ke);    % Seccion
75     D1=modelo.secciones_D1(s);        % Diámetro
76     t1=modelo.secciones_t1(s);       % Espesor
77     m=modelo.elementos_material(ke);  % Material
78     E=modelo.materiales_E(m);         % Modulo de Young
79     G=modelo.materiales_G(m);        % Modulo Cortante
80     rho=modelo.materiales_rho(m);    % Densidad
81
82     init_elem(ke).D1=D1;
83     init_elem(ke).D2=D1;
84     init_elem(ke).t1=t1;
85     init_elem(ke).t2=t1;
86     init_elem(ke).shear = true;
87     init_elem(ke).E=E;
88     init_elem(ke).G=G;
89     init_elem(ke).rho=rho;
90     init_elem(ke).L= L ;
91     init_elem(ke).D_x =D_x;
92     init_elem(ke).D_y =D_y;
93     init_elem(ke).D_z =D_z ;
94     init_elem(ke).D_xy =D_xy;
95     init_elem(ke).ni = ni;
96     init_elem(ke).nj = nj;
97     init_elem(ke).A_pandeo = A_pandeo;
98 end
99
100 % Cálculo de la geometría de los elementos
101 for i=1:modelo.n_elementos
102     init_elem(i).r1 = 0.25*(init_elem(i).D1 + init_elem(i).D2);
103     init_elem(i).t = 0.50*(init_elem(i).t1 + init_elem(i).t2);
104     init_elem(i).r2 = init_elem(i).r1 - init_elem(i).t;
105     init_elem(i).A = pi*(init_elem(i).r1^2-init_elem(i).r2^2);
106     init_elem(i).Ixx = 0.25*pi*(init_elem(i).r1^4-init_elem(i).r2^4);
107     init_elem(i).Iyy = init_elem(i).Ixx;
108     init_elem(i).Jzz = 2.0*init_elem(i).Ixx;
109     init_elem(i).Wx = (0.25*pi*(init_elem(i).r1^4-init_elem(i).r2^4))/init_elem
(i).r1;
110     init_elem(i).Wy = init_elem(i).Wx;
111     init_elem(i).Wt = 2.0*init_elem(i).Wx;
112     init_elem(i).Pelem = init_elem(i).A * init_elem(i).L * init_elem(i).rho;
113     init_elem(i).Rm = (init_elem(i).r1 + init_elem(i).r2)/2;
114     init_elem(i).ri = sqrt(init_elem(i).Ixx/init_elem(i).A);
115
116
117 % Asignación de variables geométricas para su uso en el cálculo
118     A=[init_elem(1:112).A];

```

```

119     Wx=[init_elem(1:112).Wx];
120     Wy=Wx;
121     Wt=[init_elem(1:112).Wt];
122     Rm=[init_elem(1:112).Rm];
123     t=[init_elem(1:112).t];
124     D1=[init_elem(1:112).D1];
125     Ixx=[init_elem(1:112).Ixx];
126     r1=[init_elem(1:112).r1];
127     r2=[init_elem(1:112).r2];
128     Iyy=[init_elem(1:112).Iyy];
129     Jzz=[init_elem(1:112).Jzz];
130     L=[init_elem(1:112).L];
131     E=[init_elem(1:112).E];
132     A_pandeo=[init_elem(1:112).A_pandeo];
133     ri=[init_elem(1:112).ri];
134     Pelem=[init_elem(1:112).Pelem];
135
136
137 % Variables expandidas a 784
138     A_2= repelem(A(1:Num_elementos),Num_nodo);
139     Ixx_2= repelem(Ixx(1:Num_elementos),Num_nodo);
140     Iyy_2= repelem(Iyy(1:Num_elementos),Num_nodo);
141     r1_2 = repelem(r1(1:Num_elementos),Num_nodo);
142     t_2 = repelem(t(1:Num_elementos),Num_nodo);
143     L_2 = repelem(L(1:Num_elementos),Num_nodo);
144     E_2= repelem(E(1:Num_elementos),Num_nodo);
145
146
147 % Inclusión de los diferentes casos de estudio
148     for im = 1:length(modo)
149         for ist = 1:length(load)
150             for id = 1:length(direccion)
151
152 %% Caso a estudiar
153
154                 Filename_1 = ("E99.outb");
155                 [Ch_1, ChanName_1, ChanUnit_1] = ReadFASTbinary(Filename_1);
156
157                 Filename_2 = ("E13.outb");
158                 [Ch_2, ChanName_2, ChanUnit_2] = ReadFASTbinary(Filename_2);
159
160                 Ch = [Ch_1(:, :), Ch_2(:, 83:end)];
161
162
163                 % Determinación del tiempo de estudio
164                 dt = Ch(2,1) - Ch(1,1);
165                 starting = ceil(100/dt);
166                 ending = ceil(400/dt);
167
168
169 %% Definición de vectores
170
171                 % Axial
172                 Vector_Axial_max = [];
173                 Vector_Axial_min = [];
174
175                 % Cortante X
176                 Vector_cortante_x_max = [];
177                 Vector_cortante_x_min = [];
178

```

```

179         % Cortante Y
180         Vector_cortante_y_max = [];
181         Vector_cortante_y_min = [];
182
183         % Flector X
184         Vector_flector_x_max = [];
185         Vector_flector_x_min = [];
186
187         % Flector Y
188         Vector_flector_y_max = [];
189         Vector_flector_y_min = [];
190
191         % Momento torsor
192         Vector_torsor_max = [];
193         Vector_torsor_min = [];
194
195         % Von Misses
196         Vector_Von_Misses_con_angulo_max=[];
197
198         % Pandeo
199         Vector_axil_pandeo_max = [];
200         Vector_axil_pandeo_min = [];
201
202         Vector_cortante_min_pandeo = [];
203         Vector_cortante_max_pandeo = [];
204
205         Vector_flector_pandeo_max = [];
206         Vector_flector_pandeo_min = [];
207
208         Vector_flector_pandeo_1 = [];
209         Vector_flector_pandeo_2 = [];
210
211         sigma_pandeo = [];
212         Vector_tao_pandeo = [];
213
214         Vector_lambda_s = [];
215         Vector_sigma_eq = [];
216         Vector_gamma_m = [];
217         Vector_sigma_h_chapas = [];
218         Vector_Fak = [];
219         Vector_Fkc = [];
220         Vector_FE = [];
221
222         Vector_cortante_1 = [];
223         Vector_cortante_2 = [];
224         Vector_torsor_1 = [];
225
226 %% Preasignaciones 1
227 ZL_a = zeros(Num,1);
228 p_a = zeros(Num,1);
229 C_a = zeros(Num,1);
230 cota_v = zeros(Num,1);
231 cota_h = zeros(Num,1);
232 FE_a = zeros(Num,1);
233 FE_v = zeros(Num,1);
234 FE_h = zeros(Num,1);
235 FE_m = zeros(Num,1);
236 FE_t = zeros(Num,1);
237
238 %% Cálculos

```

```

239     [Num_filas,Num_columnas]=size(Ch);
240     aa=0;
241
242     for j = 83:12:length(1:Num_columnas)
243
244
245         aa= aa+1;
246         Gc=Vector_secuencia(aa);           % Contador
247
248         fy = 355;                          % Límite elástico del material
249         densidad_agua = 1000;              % kg/m3
250         poisson = 0.3;                    % Módulo de poisson del acero
251         K=1;                               % Factor de longitud efectiva =↙
biarticulado
252
253         Alturas_chapas= repelem(A_pandeo(1:Num_elementos),Num_nodo).'; % Vector↙
que extiende las alturas medias de cada elemento a 784
254
255
256
257         % Axial
258         Max_axial_all= max(abs(Ch(starting:ending,j+2)+Ch(starting:↙
ending,j+8)));
259         Min_axial_all= min((Ch(starting:ending,j+2)+Ch(starting:↙
ending,j+8)));
260
261         Vector_Axial_max = [Vector_Axial_max; Max_axial_all];
262         Vector_Axial_min = [Vector_Axial_min; Min_axial_all];
263
264         % Vector temporal axial
265         All_axial_temporales= Ch(starting:ending,j+2)+Ch(starting:↙
ending,j+8);
266
267
268         % Cortante X
269         Max_cortante_x_all= max(abs(Ch(starting:ending,j)+Ch↙
(starting:ending,j+6)));
270         Min_cortante_x_all= min(abs(Ch(starting:ending,j)+Ch↙
(starting:ending,j+6)));
271
272         Vector_cortante_x_max = [Vector_cortante_x_max;↙
Max_cortante_x_all];
273         Vector_cortante_x_min = [Vector_cortante_x_min;↙
Min_cortante_x_all];
274
275         % Vector temporal coortante en x
276         All_cortante_x_temporales=Ch(starting:ending,j)+Ch(starting:↙
ending,j+6);
277
278
279         % Cortante Y
280         Max_cortante_y_all= max(abs(Ch(starting:ending,j+1)+Ch↙
(starting:ending,j+7)));
281         Min_cortante_y_all= min(abs(Ch(starting:ending,j+1)+Ch↙
(starting:ending,j+7)));
282
283         Vector_cortante_y_max = [Vector_cortante_y_max;↙
Max_cortante_y_all];
284         Vector_cortante_y_min = [Vector_cortante_y_min;↙
Min_cortante_y_all];

```

```

285
286         % Vector temporal coortante en y
287         All_cortante_y_temporales=Ch(starting:ending,j+1)+Ch
(starting:ending,j+7);
288
289
290         % Resultante de cortantes
291         Vector_cortante_resultante_max =[(sqrt(Vector_cortante_x_max.
^2+Vector_cortante_y_max.^2))];
292         Vector_cortante_resultante_min =[(sqrt(Vector_cortante_x_min.
^2+Vector_cortante_y_min.^2))];
293
294
295         % Flector X (unidades: Nm)
296         Max_flector_x_all= max(abs(Ch(starting:ending,j+3)+Ch
(starting:ending,j+9)));
297         Min_flector_x_all= min((Ch(starting:ending,j+3)+Ch(starting:
ending,j+9)));
298
299         Vector_flector_x_max =[Vector_flector_x_max;
Max_flector_x_all];
300         Vector_flector_x_min =[Vector_flector_x_min;
Min_flector_x_all];
301
302         % Vector temporal flector en x
303         All_flector_x_temporales=Ch(starting:ending,j+3)+Ch(starting:
ending,j+9);
304
305
306         % Flector Y (unidades: Nm)
307         Max_flector_y_all= max(abs(Ch(starting:ending,j+4)+Ch
(starting:ending,j+10)));
308         Min_flector_y_all= min((Ch(starting:ending,j+4)+Ch(starting:
ending,j+10)));
309
310         Vector_flector_y_max =[Vector_flector_y_max;
Max_flector_y_all];
311         Vector_flector_y_min =[Vector_flector_y_min;
Min_flector_y_all];
312
313         % Vector temporal flector en y
314         All_flector_y_temporales=Ch(starting:ending,j+4)+Ch(starting:
ending,j+10);
315
316         % Vectores resultantes flectores (X + Y)
317         Vector_flector_resultante_max =[(sqrt(Vector_flector_x_max.
^2+Vector_flector_y_max.^2))];
318         Vector_flector_resultante_min =[(sqrt(Vector_flector_x_min.
^2+Vector_flector_y_min.^2))];
319
320
321         % Torsor (unidades: Nm)
322         Max_torsor_all= max(abs(Ch(starting:ending,j+5)+Ch(starting:
ending,j+11)));
323         Min_torsor_all= min(abs(Ch(starting:ending,j+5)+Ch(starting:
ending,j+11)));
324
325         Vector_torsor_max =[Vector_torsor_max; Max_torsor_all];
326         Vector_torsor_min =[Vector_torsor_min; Min_torsor_all];
327

```

```

328         % Vector temporal torsor
329         All_torsor_temporales=Ch(starting:ending,j+5)+Ch(starting:
ending,j+11);
330
331
332 %% Preasignaciones 2
333
334 VonMises_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
335 Sigma_eq_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
336 Axil_pandeo_temporal_max = zeros(size(All_axial_temporales));
337 Axil_pandeo_temporal_min = zeros(size(All_axial_temporales));
338 Flector_pandeo_max_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
339 Flector_pandeo_min_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
340 Tao_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
341 Flector_pandeo_2_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
342 Flector_pandeo_1_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
343 Cortante_1_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
344 Cortante_2_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
345 Torsor_1_temporal = zeros(size(All_axial_temporales));
346
347 P_out_chapas = zeros(Num,1);
348 Flector_pandeo = zeros(Num,1);
349
350 %%
351
352         % Cálculo de los parámetros de reducción (Ccc)
353         % Axil
354         ZL_a = ((L_2.^2)./(r1_2.*t_2))*sqrt(1-poisson^2);
355         Y_a =1;
356         epsilon_a = 0.702.*ZL_a;
357         p_a = 0.5.*(1+ r1_2./(150.*t_2)).^(-0.5);
358         C_a = Y_a * sqrt((1+(p_a.*epsilon_a)./Y_a).^2);
359
360         % Cortante
361         ZL_v = ((L_2.^2)./(r1_2.*t_2))*sqrt(1-poisson^2);
362         Y_v =5.34;
363         epsilon_v = 0.856.*(ZL_v.^0.75);
364         p_v = 0.6;
365         C_v = Y_v * sqrt((1+(p_v.*epsilon_v)./Y_v).^2);
366
367         % Flector
368         ZL_m = ((L_2.^2)./(r1_2.*t_2))*sqrt(1-poisson^2);
369         Y_m =1;
370         epsilon_m = 0.702.*ZL_m;
371         p_m = 0.5.*(1+ r1_2./(300.*t_2)).^(-0.5);
372         C_m = Y_m * sqrt(1+((p_m.*epsilon_m)./Y_m).^2);
373
374         % Torsor
375         C_t = C_v;
376
377         % Presión hidroestática
378         ZL_p = ((L_2.^2)./((r1_2.*t_2)))*sqrt(1-poisson^2);
379         Y_p = 2;
380         epsilon_p = 1.04.*sqrt(ZL_p);
381         p_p = 0.6;
382         C_p = Y_p * sqrt(1+((p_p.*epsilon_p)./Y_p).^2);
383
384         % Cálculo de las resistencias elásticas a pandeo, que varian
en función del tipo de carga
385         ratio = L_2./r1_2;

```

```

386         cota_v = 3.85 .* sqrt(r1_2./t_2);
387         cota_h = 2.25 .* sqrt(r1_2./t_2);
388         coef   = (pi^2.*(E_2./1e6)) ./ (12*(1-poisson^2));
389
390     for QQ =1:Num
391         % Axil
392         FE_a(QQ) = C_a(QQ) .* coef(QQ) .* (t_2(QQ)./L_2
(QQ)).^2;
393
394         % Cortante
395         if ratio(QQ) < cota_v(QQ)
396             FE_v(QQ) = C_v(QQ) .* coef(QQ) .* (t_2(QQ)./L_2
(QQ)).^2;
397         else
398             FE_v(QQ) = 0.25 .* (E_2(QQ)./1e6) .* (t_2(QQ)./L_2
(QQ)).^(1.5);
399         end
400
401         % Flector
402         FE_m(QQ) = C_m(QQ) .* coef(QQ) .* (t_2(QQ)./L_2
(QQ)).^2;
403
404         % Hidrostático
405         if ratio(QQ) < cota_h(QQ)
406             FE_h(QQ) = C_p(QQ) .* coef(QQ) .* (t_2(QQ)./L_2
(QQ)).^2;
407         else
408             FE_h(QQ) = 0.25 .* (E_2(QQ)./1e6) .* (t_2(QQ)./L_2
(QQ)).^(1.5);
409         end
410
411         % Torsor
412         FE_t(QQ) = C_t(QQ) .* coef(QQ) .* (t_2(QQ)./L_2
(QQ)).^2;
413
414     end
415
416     % Resistencia a pandeo de Euler ---> Se consideran elementos
biarticulados por la complejidad del cálculo (K=1)
417     FE_xx = ((pi^2 .*E_2 .*Ixx_2) ./ ((K.*L_2).^2.*A_2))
/1e6) .';
418     FE_yy = ((pi^2 .*E_2 .*Iyy_2) ./ ((K.*L_2).^2.*A_2))
/1e6) .';
419
420
421     for jj = 1 : length(All_axial_temporales)
422
423         N= All_axial_temporales(jj);
424         Vx= All_cortante_x_temporales(jj);
425         Vy= All_cortante_y_temporales(jj);
426         Mx= All_flector_x_temporales(jj);
427         My= All_flector_y_temporales(jj);
428         Mt= All_torsor_temporales(jj);
429
430         angulos = 0:pi/4:2*pi;
431
432         % Cálculo de sigma (σx)
433         sigma =((N./A(Gc)) + (My./Wy(Gc)*sin(angulos)) +
(Mx./Wx(Gc)*cos(angulos)))./1e6;
434

```

```

435         % Cálculo de Tao (t)
436         tao = ((2.*Vx./A(Gc).*cos(angulos)) + (2.*Vy./A
(Gc).*sin(angulos)) + (Mt./Wt(Gc))) ./ 1e6;
437
438         % Cálculo de Von Misses
439         VonMises = sqrt(sigma.^2 + (3*(tao.^2)));
440
441         % Cálculo tensión axil (σa)
442         Axil_pandeo = (N./A(Gc))./1e6;
443
444         % Cálculo tensión flectora (σm)
445         Flector_pandeo = ((My./Wy(Gc)*sin(angulos)) + (Mx.
/Wx(Gc)*cos(angulos)))./1e6 ;
446
447         % Cálculo tensión flectora 1 (σm1)
448         Flector_1 = ((Mx./Wx(Gc)*cos(angulos)))./1e6 ;
449
450         % Cálculo tensión flectora 2 (σm2)
451         Flector_2 = ((My./Wy(Gc)*sin(angulos)))./1e6 ;
452
453         % cálculo de tensión cortante 1 (τq1)
454         Cortante_1 = (2.*Vx./A(Gc).*cos(angulos)) ./1e6;
455
456         % Cálculo de tensión cortante 2 (τq2)
457         Cortante_2 = (2.*Vy./A(Gc).*sin(angulos)) ./1e6;
458
459         % Calculo de tensión torsor (τT)
460         torsor_1 = ((Mt./Wt(Gc)) ./ 1e6);
461
462         % Condicionante de alturas, ya que no todos los
nodos están sumergidos
463         superficie_agua = 0;
464         Rel_h = Alturas_chapas - superficie_agua;
465
466         for RR = 1:Num
467             h = Rel_h(RR);
468             if h < 0
469                 profundidad = - h;
470                 P_out_chapas(RR) = (profundidad * densidad_agua
* 9.80665) ./1e6;
471             else
472                 P_out_chapas(RR) = 0;
473             end
474         end
475
476         % Tensión normal en la dirección tangencial de la
sección (σh)
477         Sigma_h_chapas = (P_out_chapas .* r1_2(Gc)) ./
t_2(Gc);
478
479         % Tensión equivalente (σeq)
480         Sigma_eq_chapas = sqrt((Axil_pandeo + max
(Flector_pandeo)).^2 - (Axil_pandeo + max(Flector_pandeo))*Sigma_h_chapas +
(Sigma_h_chapas).^2 + (3*(max(tao)).^2)); % Fijarse que se aplican los máximo para
pillar el valor máximo del ángulo
481
482
483 VonMises_temporal(jj) = max(VonMises);
484 Axil_pandeo_temporal_max (jj) = max(Axil_pandeo);
485 Axil_pandeo_temporal_min (jj) = min(Axil_pandeo);

```

```

486 Flector_pandeo_max_temporal (jj) = max(Flector_pandeo);
487 Flector_pandeo_min_temporal (jj) = min(Flector_pandeo);
488 Tao_temporal (jj)= max(abs(tao));
489 Sigma_eq_temporal (jj) = max(Sigma_eq_chapas);
490 Flector_pandeo_1_temporal (jj) = max(Flector_1);
491 Flector_pandeo_2_temporal (jj) = max(Flector_2);
492 Cortante_1_temporal (jj)= max(Cortante_1);
493 Cortante_2_temporal (jj)= max(Cortante_2);
494 Torsor_1_temporal (jj)= max(torsor_1);
495
496
497     end
498
499         Vector_Von_Misses_con_angulo_max = ↙
[Vector_Von_Misses_con_angulo_max; max(VonMises_temporal)];
500         Vector_sigma_eq = [Vector_sigma_eq; max(Sigma_eq_temporal)];
501         Vector_sigma_h_chapas = [Vector_sigma_h_chapas; ↙
(Sigma_h_chapas)];
502
503         Vector_axil_pandeo_max = [Vector_axil_pandeo_max; max ↙
(Axil_pandeo_temporal_max)];
504         Vector_axil_pandeo_min = [Vector_axil_pandeo_min; max ↙
(Axil_pandeo_temporal_min)];
505
506         Vector_flector_pandeo_max = [Vector_flector_pandeo_max; max ↙
(Flector_pandeo_max_temporal)];
507         Vector_flector_pandeo_min = [Vector_flector_pandeo_min; min ↙
(Flector_pandeo_min_temporal)];
508
509         Vector_flector_pandeo_1 = [Vector_flector_pandeo_1; max ↙
(Flector_pandeo_1_temporal)];
510         Vector_flector_pandeo_2 = [Vector_flector_pandeo_2; max ↙
(Flector_pandeo_2_temporal)];
511
512         Vector_tao_pandeo = [Vector_tao_pandeo; max(Tao_temporal)];
513
514
515         Vector_cortante_1 = [Vector_cortante_1; max ↙
(Cortante_1_temporal)];
516         Vector_cortante_2 = [Vector_cortante_2; max ↙
(Cortante_2_temporal)];
517         Vector_torsor_1 = [Vector_torsor_1; max(Torsor_1_temporal)];
518
519
520         disp(Gc) % Visualizador de ejecución
521     end
522 %% Agrupar valores en 112x1
523
524     % VM_elementos agrupa en 112x1
525     F1 = reshape(Vector_Von_Misses_con_angulo_max, Num_nodo, []);
526     VM_elementos = max(F1, [], 1).';
527
528     % Sigma_EQ agrupa en 112x1
529     F2 = reshape(Vector_sigma_eq, Num_nodo, []);
530     Sigma_EQ = max(F2, [], 1).';
531
532     % Sigma_h_elementos agrupa en 112x1
533     F3 = reshape(Vector_sigma_h_chapas, Num_nodo, []);
534     Sigma_h_elementos = max(F3, [], 1).';
535

```

```

536         % Axil_elementos agrupa en 112x1
537         F4 = reshape(Vector_axil_pandeo_max, Num_nodo, []);
538         Axil_max_elementos = max(F4, [], 1).';
539
540         % Flector_max_elementos agrupa en 112x1
541         F5 = reshape(Vector_flector_pandeo_max , Num_nodo, []);
542         Flector_max_elementos = max(F5, [], 1).';
543
544         % Cortante_1_max_elementos agrupa en 112x1
545         F16 = reshape(Vector_cortante_1 , Num_nodo, []);
546         Cortante_1_max_elementos = max(F16, [], 1).';
547
548         % Cortante_1_max_elementos agrupa en 112x1
549         F17 = reshape(Vector_cortante_2 , Num_nodo, []);
550         Cortante_2_max_elementos = max(F17, [], 1).';
551
552         % Torsor_1_max_elementos agrupa en 112x1
553         F18 = reshape(Vector_torsor_1 , Num_nodo, []);
554         Torsor_1_max_elementos = max(F18, [], 1).';
555
556
557 %% Preasignaciones 2
558 Axil_min = zeros(Num,1);
559 Flector_min = zeros(Num,1);
560 Sigma_h_min = zeros(Num,1);
561 comprobacion_pandeo_elemento = zeros((Num_elementos), 1);
562 gamma_m = zeros(Num,1);
563 Fkc = zeros(Num,1);
564
565
566 %% Cálculo de los condicionantes de valores tensionales mínimos para lambda_s
567 ric = Vector_axil_pandeo_max;
568 sam = Vector_flector_pandeo_min;    % Revisar esta valor
569 mar = Sigma_h_chapas;
570
571 for SS = 1:Num
572
573     if ric (SS) < 0
574         Axil_min (SS) = - ric (SS);
575     else
576         Axil_min (SS) = 0;
577     end
578
579
580     if sam (SS) > 0
581         Flector_min (SS) = - sam (SS);
582     else
583         Flector_min (SS) = 0;
584     end
585
586
587     if mar (SS) < 0
588         Sigma_h_min (SS) = - mar(SS);
589     else
590         Sigma_h_min (SS) = 0;
591     end
592
593 end
594
595 % Cálculo de esbeltez

```

```

596 ratio = fy ./ Vector_sigma_eq;
597 bracket = ((Axil_min)./FE_a) + ((Flector_min)./FE_m) + ((Sigma_h_min)./FE_h) + ✓
(Vector_tao_pandeo./FE_t);
598
599 lambda_s = sqrt( (ratio .* bracket) );
600
601 % Resistencia característica a pandeo reducida (Pandeo columna 3.8)
602
603 a = 1 + (fy ./ FE_a).^2;
604 b = (2.*(fy.^2) ./ (FE_a .* FE_h) - 1) .* Sigma_h_chapas;
605 c = (Sigma_h_chapas.^2 .* (1 + (fy ./ FE_h).^2)) - fy.^2;
606
607 Fak = (b + sqrt(b.^2 - 4.*a.*c)) ./ (2.*a);
608
609
610 % Esbeltez reducida del elemento
611 lambda = sqrt((Fak./FE_xx));
612
613 % Resistencia característica a pandeo del elemento + la chapa
614
615 for WW = 1:Num
616     if lambda (WW) > 1.34
617         Fkc (WW) = (0.9./(lambda(WW).^2))*Fak(WW);
618     else
619         Fkc (WW) = (1-0.28.*(lambda(WW).^2))*Fak(WW);
620     end
621 end
622
623 % Cálculo del factor de seguridad del material
624 for TT = 1:Num
625     if lambda_s (TT) < 0.5
626         gamma_m (TT) = 1.15;
627     elseif lambda_s (TT) > 1
628         gamma_m (TT)= 1.45;
629     else
630         gamma_m (TT)= 0.85 + 0.6*lambda_s(TT);
631     end
632 end
633
634 % Cálculo del peso total de la estructura en toneladas
635 peso = sum (Pelem)/1e3;
636 fprintf('\nEl peso de la estructura es: %d\n', peso);
637 fprintf('-----\n');
638
639
640 Elementos= (1:112).';
641 Nodos= (1:64).';
642 d_1= (D1).';
643 t_1= (t).';
644 Peso_elem= (Pelem./1e3).';
645 Long_elem=(L).';
646
647 %% Agrupar valores en 112x1
648
649 % Gamma los agrupa en 112x1
650 F6 = reshape(gamma_m, Num_nodo, []);
651 Gamma = max(F6, [], 1).';
652
653 % Lambda_s los agrupa en 112x1
654 F7 = reshape(lambda_s, Num_nodo, []);

```

```

655         Lambda_s = max(F7, [], 1).';
656
657         % Flector_max los agrupa en 112x1
658         F8 = reshape(Vector_flector_pandeo_max, Num_nodo, []);
659         Flector_max = max(F8, [], 1).';
660
661         % FE_max los agrupa en 112x1
662         F9 = reshape(FE_xx, Num_nodo, []);
663         FE_x = max(F9, [], 1).';
664
665         % FE_max los agrupa en 112x1
666         F10 = reshape(Axil_min, Num_nodo, []);
667         Axil_minimo = max(F10, [], 1).';
668
669         % FKC los agrupa en 112x1
670         F11 = reshape(Fkc, Num_nodo, []);
671         FKC = max(F11, [], 1).';
672
673         % FAK los agrupa en 112x1
674         F12 = reshape(Fak, Num_nodo, []);
675         FAK = max(F12, [], 1).';
676
677         % FE_max los agrupa en 112x1
678         F13 = reshape(FE_yy, Num_nodo, []);
679         FE_y = max(F13, [], 1).';
680
681         % FE_max los agrupa en 112x1
682         F14 = reshape(Vector_flector_pandeo_1, Num_nodo, []);
683         Flector_max_1 = max(F14, [], 1).';
684
685         % FE_max los agrupa en 112x1
686         F15 = reshape(Vector_flector_pandeo_2, Num_nodo, []);
687         Flector_max_2 = max(F15, [], 1).';
688
689
690 %% Cálculo de la fatiga estructural (NORMA:DNVGL-RP-C203)
691
692 % Parámetros generales
693 T_oleaje = 13.86; % [s]
694 t_ref_barra = 0.025; % [m]
695 t_ref_uniones = 0.016; % [m]
696 k_barra = 0;
697 k_uniones = 0.1;
698
699 % Barras
700 m_barra_menor = 4;
701 a_barra_menor = 10^14.917;
702 m_barra_mayor = 5;
703 a_barra_mayor = 10^17.146;
704
705 % Uniones
706 m_union_menor = 3;
707 a_union_menor = 10^12.18;
708 m_union_mayor = 5;
709 a_union_mayor = 10^16.13;
710
711 % Espesores efectivos
712 Espesor_barra_fatiga = max(t_1, t_ref_barra);
713 Espesor_union_fatiga = max(t_1, t_ref_uniones);
714

```

```

715
716 % 1 año
717 P_1 = 0.8;
718 f_1 = 1 - P_1^(1/2920);
719 N_oleaje_1 = f_1 * (365 * 24 * 3600 / T_oleaje);
720 N_oleaje_1_vector = N_oleaje_1 * ones(size(VM_elementos));
721
722 % 50 años
723 P_50 = 0.98;
724 f_50 = 1 - P_50^(1/2920);
725 N_oleaje_50 = f_50 * (50 * 365 * 24 * 3600 / T_oleaje);
726 N_oleaje_50_vector = N_oleaje_50 * ones(size(VM_elementos));
727
728
729 % Para 1 año
730 if N_oleaje_1 <= 1e6
731     m_barra_1 = m_barra_menor;
732     a_barra_1 = a_barra_menor;
733 else
734     m_barra_1 = m_barra_mayor;
735     a_barra_1 = a_barra_mayor;
736 end
737
738 NR_barra_1 = a_barra_1 ./ ((VM_elementos .* (Espesor_barra_fatiga ./
t_ref_barra).^k_barra).^m_barra_1);
739
740 % Para 50 años
741 if N_oleaje_50 <= 1e6
742     m_barra_50 = m_barra_menor;
743     a_barra_50 = a_barra_menor;
744 else
745     m_barra_50 = m_barra_mayor;
746     a_barra_50 = a_barra_mayor;
747 end
748
749 NR_barra_50 = a_barra_50 ./ ((VM_elementos .* (Espesor_barra_fatiga ./
t_ref_barra).^k_barra).^m_barra_50);
750
751
752 % Para 1 año
753 if N_oleaje_1 <= 1e7
754     m_union_1 = m_union_menor;
755     a_union_1 = a_union_menor;
756 else
757     m_union_1 = m_union_mayor;
758     a_union_1 = a_union_mayor;
759 end
760
761 NR_union_1 = a_union_1 ./ ((VM_elementos .* (Espesor_union_fatiga ./
t_ref_union).^k_union).^m_union_1);
762
763 % Para 50 años
764 if N_oleaje_50 <= 1e7
765     m_union_50 = m_union_menor;
766     a_union_50 = a_union_menor;
767 else
768     m_union_50 = m_union_mayor;
769     a_union_50 = a_union_mayor;
770 end
771

```

```

772 NR_union_50 = a_union_50 ./ ((VM_elementos .* (Espesor_union_fatiga ./
t_ref_unioniones).^k_unioniones).^m_union_50);
773
774 porcentaje_uso_4 = N_oleaje_1 ./ NR_barra_1;
775 porcentaje_uso_5 = N_oleaje_50 ./ NR_barra_50;
776
777 porcentaje_uso_6 = N_oleaje_1 ./ NR_union_1;
778 porcentaje_uso_7 = N_oleaje_50 ./ NR_union_50;
779
780
781
782 %% Comprobaciones de pandeo (Norma: DNVGL-RP-C202)
783
784 % Comprobaciones
785 Fks = (fy./sqrt(1 + (Lambda_s.^4)));
786 Fksd = Fks./Gamma;
787 Fkcd = FKC./Gamma;
788 Fakd = (FAK./Gamma);
789 Fyd = (fy./Gamma);
790
791 porcentaje_uso_1 = ((VM_elementos ./ (fy./Gamma)));
792 porcentaje_uso_2 = (Sigma_EQ ./ Fksd);
793
794 % 1) Comprobación de plastiicación
795 if any(VM_elementos(:) >= (fy./Gamma))
796     fprintf('\n\nAl menos un elemento de la subestructura está plastificando\n');
797
798     idx_fail = find(VM_elementos >= (fy./Gamma));
799     fprintf('Elementos que están plastificando: %s\n\n', sprintf('%d ',
idx_fail));
800
801     fprintf('Factor de aprovechamiento de plastificación:\n');
802     for k = 1:numel(idx_fail)
803         i = idx_fail(k); % índice del elemento que falla
804         porcentaje_uso_fallan(k) = (VM_elementos(i) / (fy / Gamma(i))) * 100;
805         fprintf(' Elemento %3d: %6.2f%%\n', i, porcentaje_uso_fallan(k));
806     end
807     fprintf('-----\n');
808 else
809     fprintf('\n;Comprobación de plastificación correcta!\n\n');
810     fprintf('-----\n');
811 end
812
813 % 2) Comprobación de estabilidad frente a pandeo local
814 fallos_locales = (Sigma_EQ (: ) > Fksd);
815
816     fallos_locales = (Sigma_EQ > Fksd);
817 idx_fallos      = find(fallos_locales);
818 n_fallos        = numel(idx_fallos);
819
820 if n_fallos > 0
821     fprintf('\n Se detectan %d ELEMENTOS en pandeo local:\n', n_fallos);
822     fprintf('Elementos afectados: %s\n\n', sprintf('%d ', idx_fallos));
823
824     % Cabecera de la tabla
825     fprintf(' Elemento\tUso local (%%)\n');
826     fprintf(' -----\t-----\n');
827
828     % Para cada elemento que falla, calculamos e imprimimos su %
829     for k = idx_fallos.'

```

```

830     porcentaje_local = (Sigma_EQ(k) / Fksd(k)) * 100;
831     fprintf('      %3d\t\t%6.2f%%\n', k, porcentaje_local);
832     end
833     fprintf('\n');
834 else
835     fprintf('\n;Comprobación de pandeo local correcta! Ningún elemento falla.↙
\n\n');
836     fprintf('-----\n');
837 end
838
839 % 3) Comprobación de estabilidad frente a pandeo global del elemento
840 fprintf('\nComprobación pandeo global\n');
841
842 lambda_global= ((K.*L./ri).^2);
843 lambda_lim= 2.5.*((E/1e6)./fy);
844 fallan = (lambda_global >= lambda_lim);
845 calculo= (Axil_minimo./Fkcd) + (1./Fakd) .*((Flector_max_1./(1-(Axil_minimo./
/FE_x))).^2 + (Flector_max_2./(1-(Axil_minimo./FE_y))).^2).^0.5;
846
847 if any(fallan)
848     idx_fail = find(fallan);
849     fprintf('Elementos que deben verificarse: %s\n\n', sprintf('%d ', idx_fail));
850
851 for p = 1:Num_elementos
852 if lambda_global(p) <= lambda_lim(p)
853     comprobacion_pandeo_elemento(p) = 0;
854 else
855     comprobacion_pandeo_elemento(p) = calculo(p);
856     fprintf('Elemento %3d:\n', p);
857
858     porcentaje_global = calculo(p)*100;
859
860     if calculo(p) <= 1
861         fprintf('  ✓ Cumple verificación de interacción: %.6f ≤ 1.0 (%.2f%% de↙
aprovechamiento) \n\n', calculo(p), porcentaje_global);
862     else
863         fprintf('  ✗ No cumple: %.5f > 1.0 (%.2f%% de aprovechamiento) \n\n',↙
calculo(p), porcentaje_global);
864     end
865 end
866 end
867 end
868 fprintf('-----\n');
869 porcentaje_uso_3 = calculo;
870
871 %% Comprobaciones de fatiga (Norma: DNVGL-ST-0126)
872
873 % BARRAS
874 % Para 1 año
875 idx_falla_barra_1 = find(N_oleaje_1 >= NR_barra_1);
876 if any(idx_falla_barra_1)
877     fprintf('\n Barras que NO cumplen fatiga para 1 año:\n');
878     fprintf('Índices: %s\n', sprintf('%d ', idx_falla_barra_1));
879     factor_barra_1 = (N_oleaje_1 ./ NR_barra_1) * 100;
880     for k = 1:numel(idx_falla_barra_1)
881         u = idx_falla_barra_1(k);
882         fprintf('  Barra %3d: %.2f %% de uso\n', u, factor_barra_1(u));
883     end
884 else
885     fprintf('\n✓ Todas las barras cumplen fatiga para 1 año\n');

```

```

886 end
887 fprintf('-----\n');
888
889 % Para 50 años
890 idx_falla_barra_50 = find(N_oleaje_50 >= NR_barra_50);
891 if any(idx_falla_barra_50)
892     fprintf('\n Barras que NO cumplen fatiga para 50 años:\n');
893     fprintf('Índices: %s\n', sprintf('%d ', idx_falla_barra_50));
894     factor_barra_50 = (N_oleaje_50 ./ NR_barra_50) * 100;
895     for k = 1:numel(idx_falla_barra_50)
896         u = idx_falla_barra_50(k);
897         fprintf(' Barra %3d: %.2f %% de uso\n', u, factor_barra_50(u));
898     end
899 else
900     fprintf('\n✓ Todas las barras cumplen fatiga para 50 años\n');
901 end
902 fprintf('-----\n');
903
904
905
906
907 % UNIONES
908 % Para 1 año
909 idx_falla_union_1 = find(N_oleaje_1 >= NR_union_1);
910 if any(idx_falla_union_1)
911     fprintf('\n△□ Uniones que NO cumplen fatiga para 1 año:\n');
912     fprintf('Índices: %s\n', sprintf('%d ', idx_falla_union_1));
913     factor_union_1 = (N_oleaje_1 ./ NR_union_1) * 100;
914     for k = 1:numel(idx_falla_union_1)
915         u = idx_falla_union_1(k);
916         fprintf(' Unión %3d: %.2f %% de uso\n', u, factor_union_1(u));
917     end
918 else
919     fprintf('\n✓ Todas las uniones cumplen fatiga para 1 año\n');
920 end
921 fprintf('-----\n');
922
923 % Para 50 años
924 idx_falla_union_50 = find(N_oleaje_50 >= NR_union_50);
925 if any(idx_falla_union_50)
926     fprintf('\n△□ Uniones que NO cumplen fatiga para 50 años:\n');
927     fprintf('Índices: %s\n', sprintf('%d ', idx_falla_union_50));
928     factor_union_50 = (N_oleaje_50 ./ NR_union_50) * 100;
929     for k = 1:numel(idx_falla_union_50)
930         u = idx_falla_union_50(k);
931         fprintf(' Unión %3d: %.2f %% de uso\n', u, factor_union_50(u));
932     end
933 else
934     fprintf('\n✓ Todas las uniones cumplen fatiga para 50 años\n');
935 end
936 fprintf('-----\n');
937
938
939 %% SIMPLIFICACIÓN
940
941 porcentajes = [porcentaje_uso_1, porcentaje_uso_2, porcentaje_uso_3, ←
porcentaje_uso_4, porcentaje_uso_5, porcentaje_uso_6, porcentaje_uso_7];
942
943 for OO= 1:Num_elementos
944     if all(porcentajes(OO,:) <= 1)

```

```

945     %resultado = ["Cumple"];
946     resultado(00) = "Cumple";
947 else
948     %resultado = ["No_Cumple"];
949     resultado(00) = "No Cumple";
950 end
951 end
952 resultado = (resultado).';
953
954
955 %% Convertir valores a decimales
956
957
958 d_1_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.3f', x), d_1, 'UniformOutput', false);
959 t_1_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.3f', x), t_1, 'UniformOutput', false);
960 Peso_elem_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Peso_elem, 'UniformOutput', ↵
false);
961 Longitud_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Long_elem, 'UniformOutput', ↵
false);
962
963 VM_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), VM_elementos, 'UniformOutput', ↵
false);
964 usol_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), porcentaje_uso_1, 'UniformOutput', ↵
false);
965 sigma_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Sigma_EQ, 'UniformOutput', false);
966 uso2_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), porcentaje_uso_2, 'UniformOutput', ↵
false);
967 calc_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), comprobacion_pandeo_elemento, ↵
'UniformOutput', false);
968 uso3_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), porcentaje_uso_3, 'UniformOutput', ↵
false);
969 uso4_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), porcentaje_uso_4, 'UniformOutput', ↵
false);
970 uso5_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), porcentaje_uso_5, 'UniformOutput', ↵
false);
971 uso6_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), porcentaje_uso_6, 'UniformOutput', ↵
false);
972 uso7_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), porcentaje_uso_7, 'UniformOutput', ↵
false);
973
974 Axil_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Axil_max_elementos, 'UniformOutput', ↵
false);
975 Cortante_1_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Cortante_1_max_elementos, ↵
'UniformOutput', false);
976 Cortante_2_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Cortante_2_max_elementos, ↵
'UniformOutput', false);
977 Flector_1_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Flector_max_1, ↵
'UniformOutput', false);
978 Flector_2_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Flector_max_2, ↵
'UniformOutput', false);
979 Torsor_1_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Torsor_1_max_elementos, ↵
'UniformOutput', false);
980
981 fyd_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Fyd, 'UniformOutput', false);
982 fksd_str = arrayfun(@(x) sprintf('%.2f', x), Fksd, 'UniformOutput', false);
983
984
985 N1 = arrayfun(@(x) sprintf('%.2e', x), N_oleaje_1_vector, 'UniformOutput', ↵
false);
986 N50 = arrayfun(@(x) sprintf('%.2e', x), N_oleaje_50_vector, 'UniformOutput', ↵

```

```

false);
987 NR1 = arrayfun(@(x) sprintf('%.2e', x), NR_barra_1, 'UniformOutput', false);
988 NR2 = arrayfun(@(x) sprintf('%.2e', x), NR_barra_50, 'UniformOutput', false);
989 NR3 = arrayfun(@(x) sprintf('%.2e', x), NR_union_1, 'UniformOutput', false);
990 NR4 = arrayfun(@(x) sprintf('%.2e', x), NR_union_50, 'UniformOutput', false);
991
992
993 %% Creación del archivo Excel
994
995 T1 = table(Elementos, VM_str, fyd_str, usol_str, sigma_str, fksd_str, uso2_str, ↵
uso3_str, resultado, ...
996     'VariableNames', ↵
{'ID', 'ovm', 'Fyd', 'η_ovm', 'S', 'Fy', 'η_Local', 'η_Global', 'Resultado'});
997
998 T2 = table(Elementos, d_1_str, t_1_str, Axil_str, Cortante_1_str, ↵
Cortante_2_str, Flector_1_str, Flector_2_str, Torsor_1_str, ...
999     'VariableNames', {'ID', 'D1', 't', 'N', 'Vx', 'Vy', 'Mx', 'My', 'T'});
1000
1001 T3 = table(Elementos, N50, NR2, NR4, uso5_str, uso7_str, ...
1002     'VariableNames', {'ID', 'Ciclos recibidos', 'Resiste barras', 'Resiste ↵
uniones', 'η_Barras', 'η_Uniones'});
1003
1004 T4 = table(Elementos, d_1_str, t_1_str, Longitud_str, ...
1005     'VariableNames', {'ID', 'D1', 't', 'Longitud'});
1006
1007
1008
1009 writetable(T1, 'tabla_1.xlsx', 'Sheet', 'ELU barras', 'Range', 'A1');
1010 writetable(T2, 'tabla_1.xlsx', 'Sheet', 'Tensiones', 'Range', 'A1');
1011 writetable(T3, 'tabla_1.xlsx', 'Sheet', 'ELF', 'Range', 'A1');
1012 writetable(T4, 'tabla_1.xlsx', 'Sheet', 'Identificacion barras', 'Range', 'A1');
1013
1014
1015
1016 %% REPRESENTACIÓN GRÁFICA
1017
1018 % Coordenadas de los nodos
1019 JointXss = [
1020     6.931, 6.931, 6.8925, 6.8589, 6.1461, -6.931, -6.931, -6.8925, -6.8589, ↵
-6.1461, ...
1021     -6.931, -6.931, -6.8925, -6.8589, -6.1461, 6.931, 6.931, 6.8925, 6.8589, ↵
6.1461, ...
1022     5.5419, 5.0298, 4.5957, 4.5765, -5.5419, -5.0298, -4.5957, -4.5765, -5.5419, ↵
-5.0298, ...
1023     -4.5957, -4.5765, 5.5419, 5.0298, 4.5957, 4.5765, 6.4829, -6.4829, 0.0, 0.0, ↵
...
1024     5.8283, -5.8283, 0.0, 0.0, 5.2734, -5.2734, 0.0, 0.0, 4.803, -4.803, ...
1025     0.0, 0.0, 4.5765, -4.5765, 4.5765, -4.5765, 6.931, 6.931, -6.931, -6.931, ...
1026     6.931, 6.931, -6.931, -6.931
1027 ];
1028
1029
1030 JointYss = [
1031     6.931, 6.931, 6.8925, 6.8589, 6.1461, 6.931, 6.931, 6.8925, 6.8589, 6.1461, ↵
...
1032     -6.931, -6.931, -6.8925, -6.8589, -6.1461, -6.931, -6.931, -6.8925, -6.8589, ↵
-6.1461, ...
1033     5.5419, 5.0298, 4.5957, 4.5765, 5.5419, 5.0298, 4.5957, 4.5765, -5.5419, ↵
-5.0298, ...
1034     -4.5957, -4.5765, -5.5419, -5.0298, -4.5957, -4.5765, 0.0, 0.0, 6.4829, ↵

```

```

-6.4829, ...
1035 0.0, 0.0, 5.8283, -5.8283, 0.0, 0.0, 5.2734, -5.2734, 0.0, 0.0, ...
1036 4.803, -4.803, 4.5765, 4.5765, -4.5765, -4.5765, -6.931, 6.931, -6.931, ↵
6.931, ...
1037 -6.931, 6.931, -6.931, 6.931
1038 ];
1039
1040 JointZss = [
1041 -45.5, -45.0, -44.001, -43.127, -24.614, -45.5, -45.0, -44.001, ↵
-43.127, -24.614, ...
1042 -45.5, -45.0, -44.001, -43.127, -24.614, -45.5, -45.0, -44.001, ↵
-43.127, -24.614, ...
1043 -8.922, 4.378, 15.651, 16.15, -8.922, 4.378, 15.651, 16.15, ↵
-8.922, 4.378, ...
1044 15.651, 16.15, -8.922, 4.378, 15.651, 16.15, -33.373, -33.373, ↵
-33.373, -33.373, ...
1045 -16.371, -16.371, -16.371, -16.371, -1.958, -1.958, -1.958, -1.958, ↵
10.262, 10.262, ...
1046 10.262, 10.262, 20.15, 20.15, 20.15, 20.15, -49.5, -49.5, -49.5, ↵
-49.5, ...
1047 -50.001, -50.001, -50.001, -50.001
1048 ];
1049
1050 %%
1051 % Elementos
1052 Members = [
1053 1, 2; % Miembro 1
1054 2, 3; % Miembro 2
1055 3, 4; % Miembro 3
1056 4, 5; % Miembro 4
1057 6, 7; % Miembro 5
1058 7, 8; % Miembro 6
1059 8, 9; % Miembro 7
1060 9, 10; % Miembro 8
1061 11, 12; % Miembro 9
1062 12, 13; % Miembro 10
1063 13, 14; % Miembro 11
1064 14, 15; % Miembro 12
1065 16, 17; % Miembro 13
1066 17, 18; % Miembro 14
1067 18, 19; % Miembro 15
1068 19, 20; % Miembro 16
1069 5, 21; % Miembro 17
1070 21, 22; % Miembro 18
1071 22, 23; % Miembro 19
1072 23, 24; % Miembro 20
1073 10, 25; % Miembro 21
1074 25, 26; % Miembro 22
1075 26, 27; % Miembro 23
1076 27, 28; % Miembro 24
1077 15, 29; % Miembro 25
1078 29, 30; % Miembro 26
1079 30, 31; % Miembro 27
1080 31, 32; % Miembro 28
1081 20, 33; % Miembro 29
1082 33, 34; % Miembro 30
1083 34, 35; % Miembro 31
1084 35, 36; % Miembro 32
1085 8, 3; % Miembro 33
1086 13, 8; % Miembro 34

```

1087	13,	18;	% Miembro 35
1088	18,	3;	% Miembro 36
1089	4,	37;	% Miembro 37
1090	37,	20;	% Miembro 38
1091	19,	37;	% Miembro 39
1092	37,	5;	% Miembro 40
1093	9,	38;	% Miembro 41
1094	38,	15;	% Miembro 42
1095	14,	38;	% Miembro 43
1096	38,	10;	% Miembro 44
1097	4,	39;	% Miembro 45
1098	39,	10;	% Miembro 46
1099	9,	39;	% Miembro 47
1100	39,	5;	% Miembro 48
1101	19,	40;	% Miembro 49
1102	40,	15;	% Miembro 50
1103	14,	40;	% Miembro 51
1104	40,	20;	% Miembro 52
1105	5,	41;	% Miembro 53
1106	41,	33;	% Miembro 54
1107	20,	41;	% Miembro 55
1108	41,	21;	% Miembro 56
1109	10,	42;	% Miembro 57
1110	42,	29;	% Miembro 58
1111	15,	42;	% Miembro 59
1112	42,	25;	% Miembro 60
1113	5,	43;	% Miembro 61
1114	43,	25;	% Miembro 62
1115	10,	43;	% Miembro 63
1116	43,	21;	% Miembro 64
1117	20,	44;	% Miembro 65
1118	44,	29;	% Miembro 66
1119	15,	44;	% Miembro 67
1120	44,	33;	% Miembro 68
1121	21,	45;	% Miembro 69
1122	45,	34;	% Miembro 70
1123	33,	45;	% Miembro 71
1124	45,	22;	% Miembro 72
1125	25,	46;	% Miembro 73
1126	46,	30;	% Miembro 74
1127	29,	46;	% Miembro 75
1128	46,	26;	% Miembro 76
1129	21,	47;	% Miembro 77
1130	47,	26;	% Miembro 78
1131	25,	47;	% Miembro 79
1132	47,	22;	% Miembro 80
1133	33,	48;	% Miembro 81
1134	48,	30;	% Miembro 82
1135	29,	48;	% Miembro 83
1136	48,	34;	% Miembro 84
1137	22,	49;	% Miembro 85
1138	49,	35;	% Miembro 86
1139	34,	49;	% Miembro 87
1140	49,	23;	% Miembro 88
1141	26,	50;	% Miembro 89
1142	50,	31;	% Miembro 90
1143	30,	50;	% Miembro 91
1144	50,	27;	% Miembro 92
1145	22,	51;	% Miembro 93
1146	51,	27;	% Miembro 94

```

1147     26, 51; % Miembro 95
1148     51, 23; % Miembro 96
1149     34, 52; % Miembro 97
1150     52, 31; % Miembro 98
1151     30, 52; % Miembro 99
1152     52, 35; % Miembro 100
1153     24, 53; % Miembro 101
1154     28, 54; % Miembro 102
1155     32, 56; % Miembro 103
1156     36, 55; % Miembro 104
1157     58, 1; % Miembro 105
1158     57, 16; % Miembro 106
1159     60, 6; % Miembro 107
1160     59, 11; % Miembro 108
1161     62, 58; % Miembro 109
1162     61, 57; % Miembro 110
1163     64, 60; % Miembro 111
1164     63, 59 % Miembro 112
1165 ];
1166
1167
1168 %%
1169 % Coordenadas de los nodos
1170 X = JointXss(:);
1171 Y = JointYss(:);
1172 Z = JointZss(:);
1173
1174 nCaras = 20;
1175
1176 % Definición de grupos
1177 Pilotes = [105,106,107,108,109,110,111,112];
1178 Arriostramiento = [33:36];
1179 B1 = [37:52];
1180 B2 = [53:68];
1181 B3 = [69:84];
1182 B4 = [85:100];
1183 L1 = [1:16];
1184 L2 = [17,21,25,29];
1185 L3 = [18,22,26,30];
1186 L4 = [19,23,27,31,20,24,28,32];
1187 L5 = [101:104];
1188
1189 grupos = {Pilotes, Arriostramiento, B1, B2, B3, B4, L1, L2, L3, L4, L5};
1190 nombres = {
1191 'Pilotes', 'Arriostramiento', 'B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'L1', 'L2', 'L3', 'L4', 'L5'};
1191 d_por_grupo = struct('Pilotes',2.082,'Arriostramiento',0.5,'B1',0.5,'B2',
0.5,'B3',0.5,'B4',0.5,...
1192 'L1',0.817,'L2',0.778,'L3',0.67,'L4',0.706,'L5',0.5);
1193 Diametros = 0.3 * ones(size(Members,1),1);
1194 for g = 1:numel(grupos)
1195     Diametros(grupos{g}) = d_por_grupo.(nombres{g});
1196 end
1197
1198
1199 %%
1200 % Creación de la figura
1201 figure('Units','normalized','Position',[0.1 0.1 0.8 0.8]);
1202 hold on; axis equal; view(3); grid off; rotate3d on;
1203 set(gca, 'Visible', 'off');
1204

```

```

1205 for i = 1:size(Members,1)
1206     ni = Members(i,1); nj = Members(i,2);
1207     p1 = [X(ni), Y(ni), Z(ni)];
1208     p2 = [X(nj), Y(nj), Z(nj)];
1209
1210     sigma_vm = VM_elementos(i);
1211     if sigma_vm > Fyd
1212         color = [1 0 0]; % rojo
1213     elseif sigma_vm > 0.5 * Fyd
1214         color = [0 1 0]; % verde
1215     else
1216         color = [0 0 1]; % azul
1217     end
1218
1219     v = p2 - p1;
1220     L = norm(v);
1221     [Xc, Yc, Zc] = cylinder(Diametros(i)/2, nCaras);
1222     Zc = Zc * L;
1223     vz = [0 0 1]; v = v / L;
1224
1225     if all(abs(v - vz) < 1e-10)
1226         R = eye(3);
1227     elseif all(abs(v + vz) < 1e-10)
1228         R = diag([1 1 -1]);
1229     else
1230         axis_rot = cross(vz, v);
1231         angle_rot = acos(dot(vz, v));
1232         axis_rot = axis_rot / norm(axis_rot);
1233         K = [0 -axis_rot(3) axis_rot(2); axis_rot(3) 0 -axis_rot(1); -axis_rot(2)
axis_rot(1) 0];
1234         R = eye(3) + sin(angle_rot)*K + (1 - cos(angle_rot))*(K*K);
1235     end
1236
1237     nPts = numel(Xc);
1238     pts = R * [Xc(:)'; Yc(:)'; Zc(:)'];
1239     Xr = reshape(pts(1,:) + p1(1), size(Xc));
1240     Yr = reshape(pts(2,:) + p1(2), size(Yc));
1241     Zr = reshape(pts(3,:) + p1(3), size(Zc));
1242     surf(Xr, Yr, Zr, 'FaceColor', color, 'EdgeColor', 'none');
1243     scatter3(X, Y, Z, 15, [0.2 0.2 0.2], 'filled');
1244 end
1245
1246 %%
1247
1248 % Plano del agua
1249 margen = 20;
1250 patch([min(X)-margen max(X)+margen max(X)+margen min(X)-margen], ...
1251     [min(Y)-margen min(Y)-margen max(Y)+margen max(Y)+margen], ...
1252     [0 0 0 0], [0.5 0.8 1], 'FaceAlpha', 0.2, 'EdgeColor','none');
1253
1254
1255 xlabel('X'); ylabel('Y'); zlabel('Z');
1256 title('Tensiones de von Mises en miembros (MPa)');
1257 hold off;
1258 camzoom(2.0);
1259
1260 %%
1261
1262 % Leyenda de colores
1263 Fyd_max = max(Fyd(:));

```

```
1264 vm_max = max(VM_elementos(:));
1265
1266 caxis([0, max(Fyd_max, vm_max)]);
1267
1268 colormap([0.6 0.8 1; 0 0 1; 0 1 0; 1 0.6 0; 1 0 0]);
1269
1270 % Ticks y etiquetas
1271 cb = colorbar;
1272 cb.Ticks = sort([Fyd_max, vm_max]);
1273 cb.TickLabels = {sprintf('Fyd (0.1f MPa)', Fyd_max), 'Máximo'};
1274 ylabel(cb, 'Tensión de von Mises [MPa]');
1275
1276 %%
1277 % Guardar iamgen
1278 exportgraphics(gcf, 'grafica_von_mises.png', 'Resolution', 300);
1279
1280
1281 end
1282 end
1283         clearvars Ch ChanName ChanUnit
1284 end
1285 end
1286
1287
```

**Universidad de Las Palmas de Gran Canaria**  
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES Y CIVILES  
GRADOS EN INGENIERÍA MECÁNICA

## Planos

---

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SUBESTRUCTURA TIPO JACKET  
PARA EL AEROGENERADOR MARINO NREL 5MW

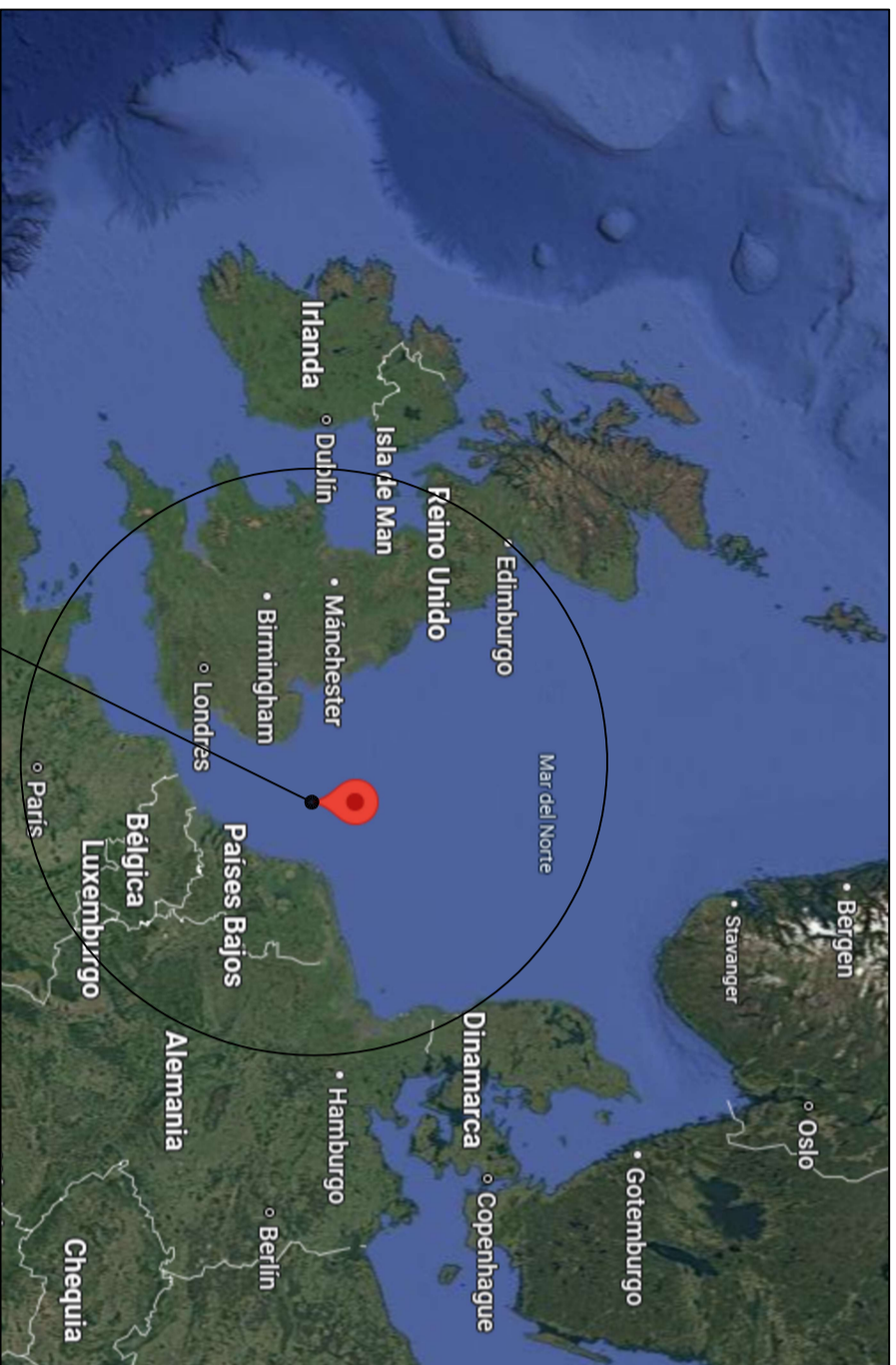
Trabajo de Fin de Grado

**Autor:** Saulo Manuel Román Cabrera

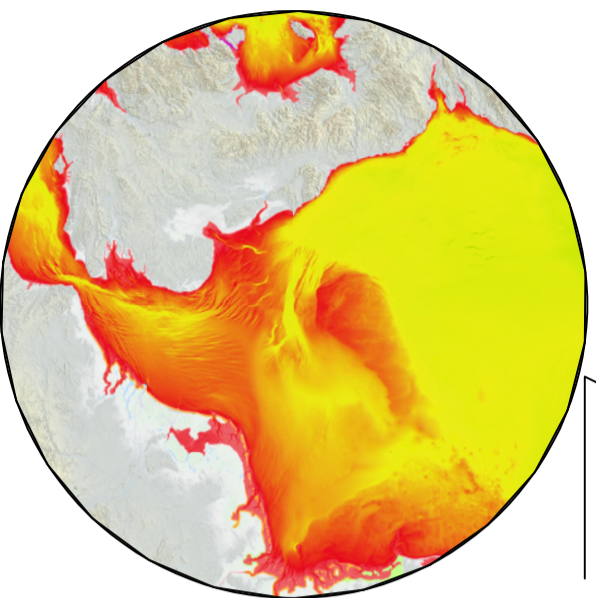
**Tutores:** Luis A. Padrón Hernández y Carlos Romero Sánchez

## Índice de contenido



1. Plano de situación
2. Plano estructural

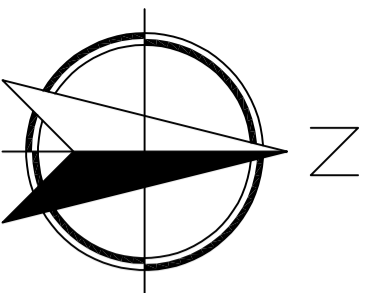


Escala 1:25.000

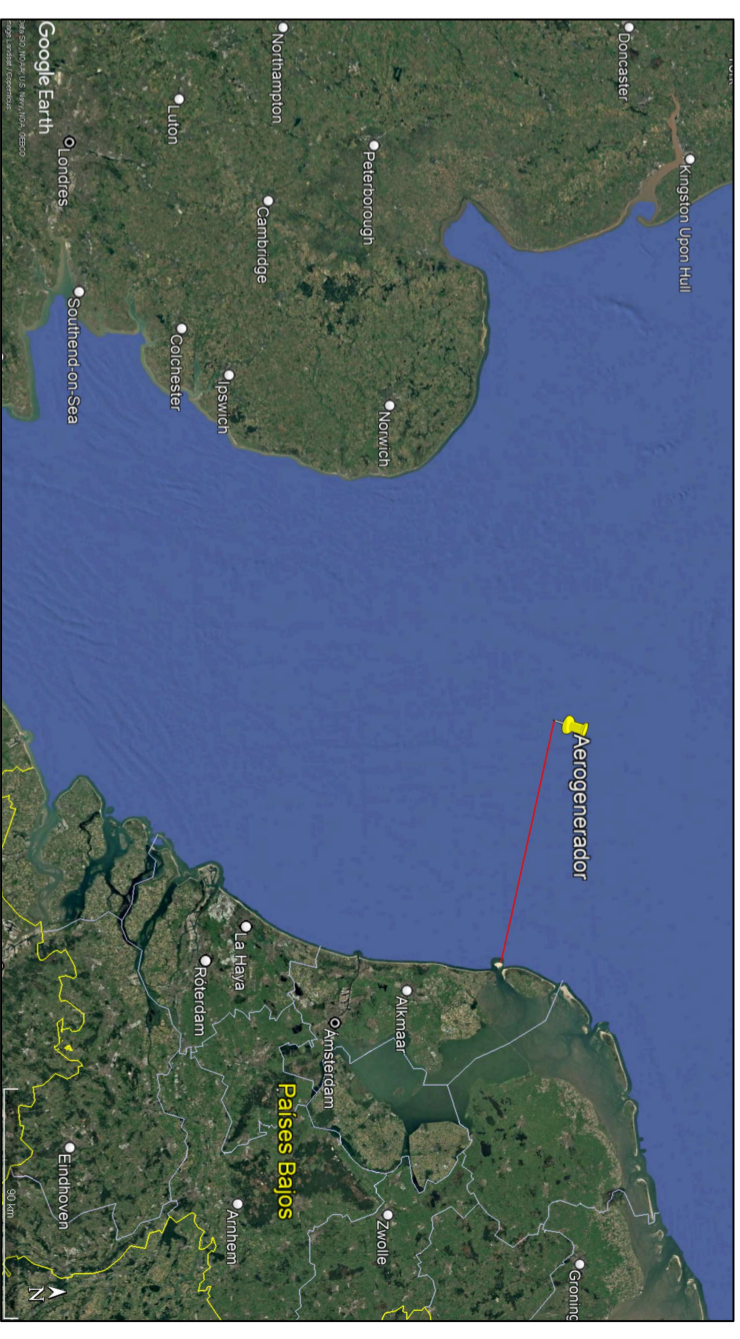


Batimetría de la ubicación

Profundidades (m)	
	-50
	-25



Distancia de la costa: 100 Km



Escala 1:6.000

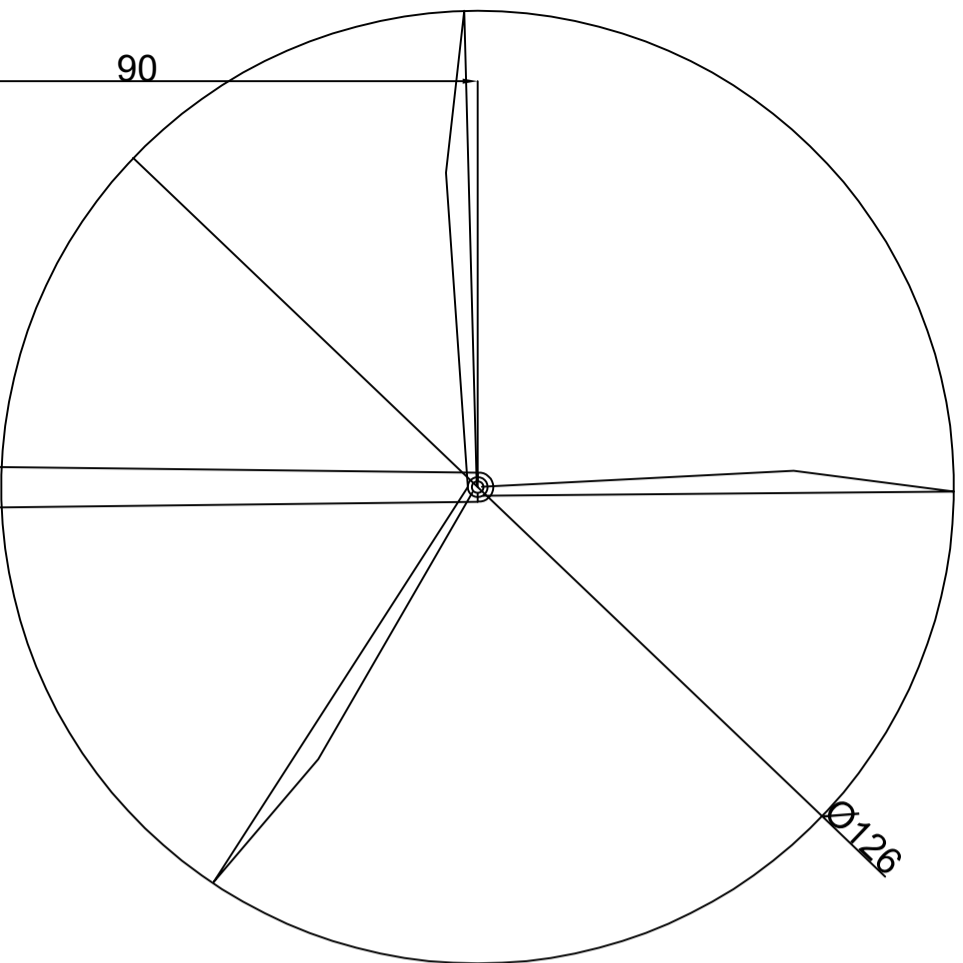
Ubicación del aerogenerador	
Coordenadas de localización	
Lattitud	53.21778° N
Longitudud	3.22028° E

Proyecto: Análisis y diseño de una subestructura tipo jacket para aerogenerador marino de 5MW

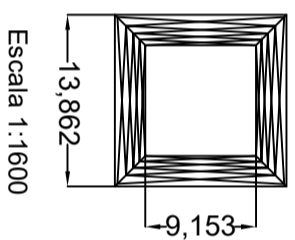
Autor: Saulo Manuel Román Cabrera

Escala: Como se indica Fecha: 27/06/2025

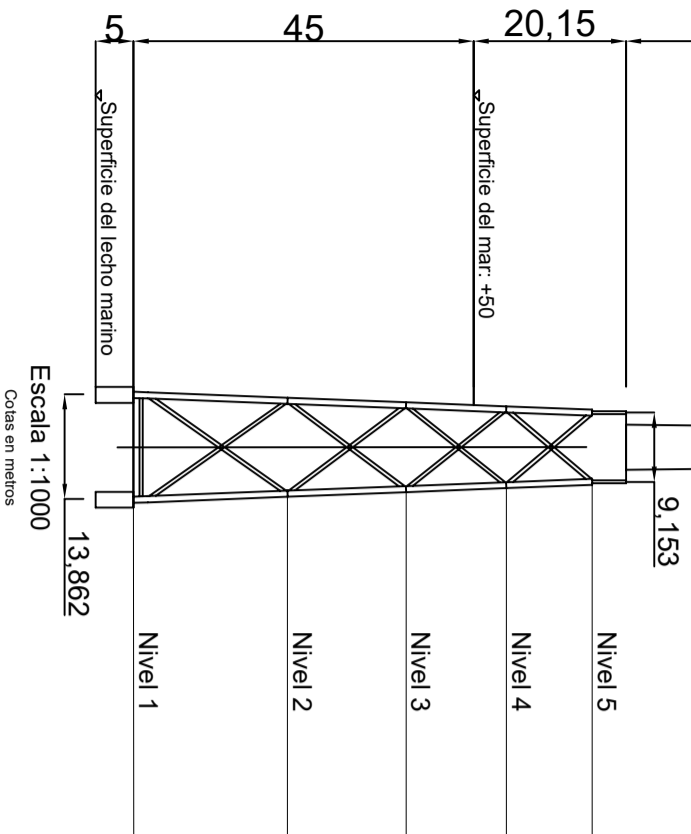
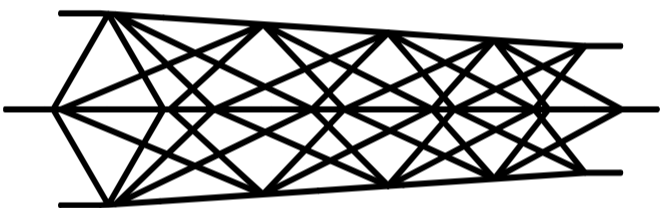
Plano: Situación Tamaño papel: A3 Nº: 1



Vista en planta

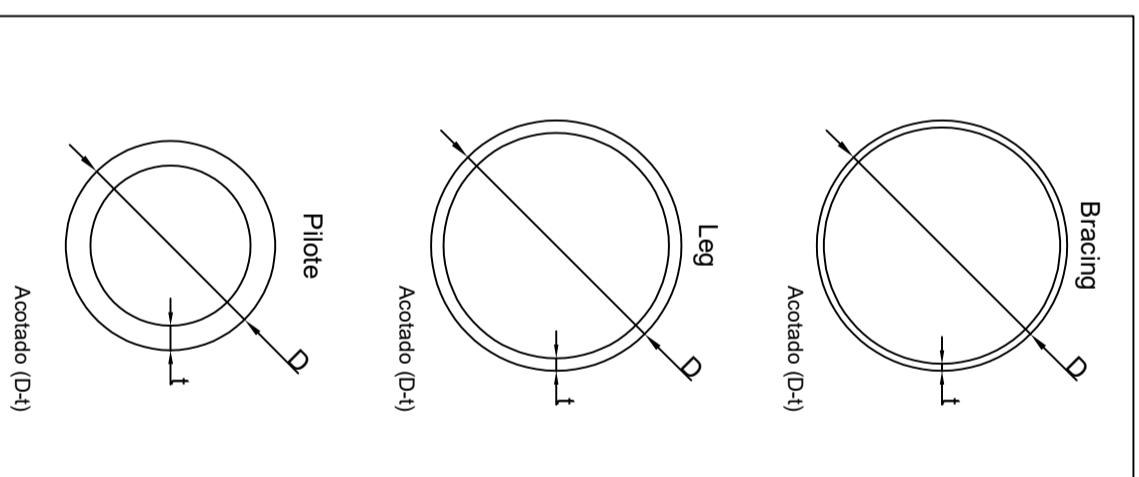


Vista isométrica

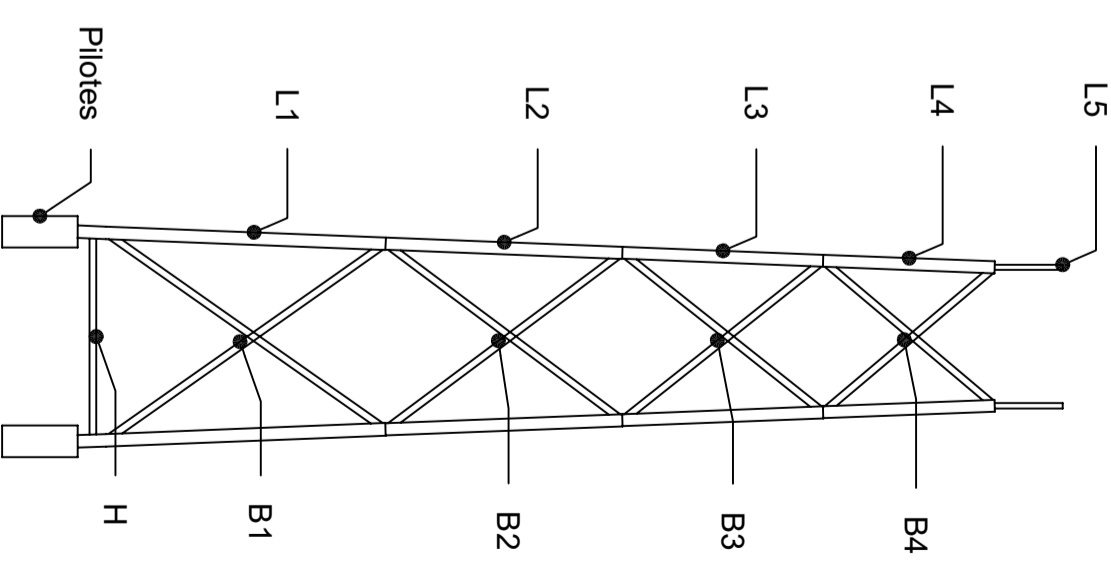


Escala 1:1000  
Cotas en metros

Secciones tubulares



	Conexiones	D (m)	t (mm)	Longitud (m)
L1	Nivel 1-2	0,83	45,80	20,92
L2	Nivel 2-3	0,80	20,80	15,72
L3	Nivel 3-4	0,79	19,50	13,32
L4	Nivel 4-5	0,79	18,90	11,79
L5	-	0,35	8,00	4,00
Pilote	-	2,08	60,00	4,50
B1	Nivel 1-2	0,48	15,00	22,64
B2	Nivel 2-3	0,48	13,30	19,58
B3	Nivel 3-4	0,48	11,70	16,99
B4	Nivel 4-5	0,48	11,30	14,83
H	-	0,45	11,70	13,79



NREL 5MW ROWT	
Propiedades básicas	
Potencia nominal	5 MW
Diámetro base de la torre	6,00 m
Diámetro superior de la torre	3,87 m
Área barrida por las palas	12.468,98 m <sup>2</sup>
Espesor de la base	27,00 mm
Espesor de la zona superior	19,00 mm

NREL 5MW ROWT	
Propiedades material de la torre	
Tipo	Acero VL EW36 (S355)
Tratamiento térmico	Estrado en frío
Módulo de Young	210 GPa
Módulo de cizalladura	80,80 GPa
Densidad del material	7.850 kg/m <sup>3</sup>

Subestructura tipo jacket	
Propiedades básicas	
Material	Acero VL EW36 (S355)
Límite elástico	355 MPa
Módulo de Young	210 GPa
Densidad del material	7.850 kg/m <sup>3</sup>
Tipos de sección	Tubulares (CHS)
Tipos de uniones	Soldadas



Proyecto: Análisis y diseño de una subestructura tipo jacket para aerogenerador marino de 5MW

Autor: Saulo Manuel Román Cabrera

Escala: Como se indica

Fecha: 27/06/2025

Plano: Estructural

Tamaño papel: A3

Nº: 2



**ULPGC**  
Universidad de  
Las Palmas de  
Gran Canaria

**eiiic**

ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES Y CIVILES

Trabajo de Final de Grado

**Grado en Ingeniería Mecánica (GIM)**

**Curso 2024/2025**