

DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

BANCO DE ENSAYO DE FATIGA DE CADENAS DE FONDEO

CONTENIDO

1. Introducción	3
2. Objeto del banco de ensayos	4
3. Especímenes de ensayo	6
Tipos de espécimen	6
Geometría de los eslabones	6
Características máxicas	7
Características de resistencia	7
Características de rigidez	7
Rigidez frente a acciones longitudinales	7
Rigidez frente a acciones transversales	7
Conectores articulados	8
4. Posibles arquitecturas del banco de ensayos	9
Arquitectura JIP2007	9
Arquitectura DNV2016	10
5. Acciones a introducir. Esfuerzos y desplazamientos	10
Ensayos TTF	10
Ensayos OPBF	11
Ensayos Pre-OPBF	12
6. Interfaces entre máquina de ensayo y espécimen de ensayo	12
7. Otras condiciones de ensayo	14
8. Magnitudes de ensayo a medir Y CONTROL	15
9. Calibración	15
10. Condiciones particulares para la aceptación del banco	16
Prueba 1. TT sobre cadena de 170-180 mm en agua	16
Prueba 2. TT sobre cadena de 76 mm en agua, 50.000 ciclos	16
Prueba 3. OPB/TT sobre cadena de 170-180 mm en agua, 200 ciclos	16
Prueba 4. OPB/TT sobre cadena de 170-180 mm en agua, 25.000 ciclos	16
Prueba 5. OPB/TT sobre cadena de 76 mm en agua, 25,000 ciclos	17
11. Plan de formación	17
12. Garantía	17
13. Seguridad regulaciones a cumplir	17
14. Requisitos de obra civil e integración por parte del banco ofertado	17
15. Referencias	18

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se recogen los requisitos que debe cumplir la máquina de ensayos de fatiga de cadenas de fondeo y que se instalará en la siguiente localización:

Edificio EIC-FullScale
Energy Intelligence Center
Parque Tecnológico Ezkerraldea / Meatzaldea
Barrio Revilla, 6R, 48500, Vizcaya, España

Junto con la especificación se adjuntará un plano con un espacio que habrá de compartirse con otras dos máquinas y cuyo Layout final se determinará dependiendo de un proyecto de integración que se articulará posteriormente en función de los proyectos constructivos de las tres máquinas y de sus requerimientos de espacio y de circulación de flujos necesarios para su funcionamiento.

A lo largo del presente documento aparecerán algunos requisitos mínimos que se han considerado necesarios para satisfacer necesidades de los potenciales usuarios de la máquina, así como otros requisitos valorables cuya satisfacción supondrá, además de la oferta económica, la base comparativa para puntuar las propuestas de los diferentes licitantes; dichos requisitos valorables aparecerán codificados, dependiendo de la naturaleza de su evaluación, como VS (valorable subjetivo) y VO (valorable objetivo).

2. OBJETO DEL BANCO DE ENSAYOS

La finalidad del banco de ensayos es la de poder reproducir dos tipos de fenómenos de fatiga que tienen lugar en las cadenas de fondeo:

- a) La fatiga TTF (Tension-Tension-Fatigue), que ocurre por la variación de tensión en los eslabones de la cadena ante movimientos y esfuerzos longitudinales cíclicos de la cadena.
- b) La fatiga OPBF (Out-of-Plane-Bending-Fatigue), que ocurre por la variación de tensión en algunos eslabones debida a movimientos y esfuerzos transversales cíclicos de la cadena.

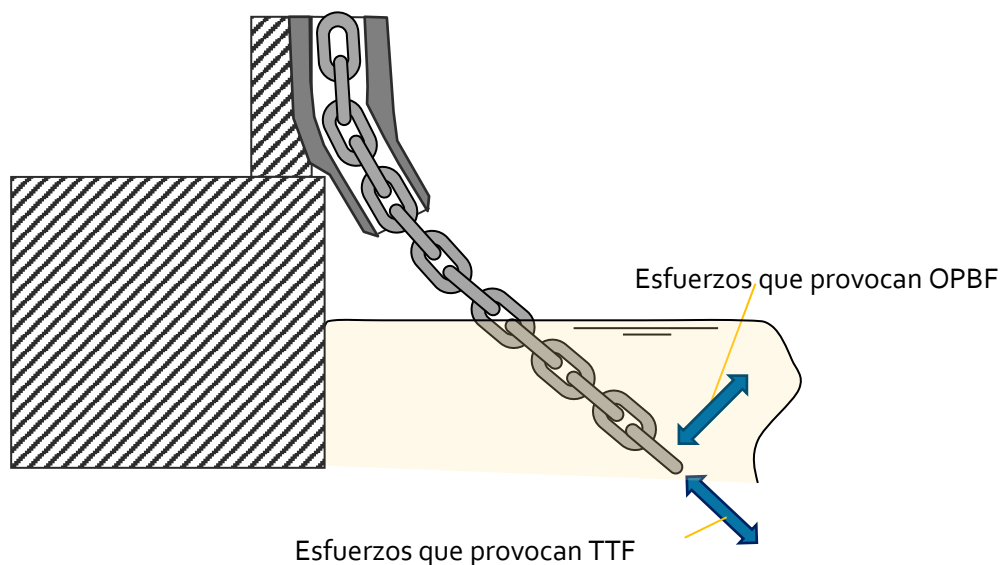


Figura 1. Esfuerzos en cadenas de fondeo

Debido a que la detección del fenómeno OPBF es relativamente reciente, se describe a continuación cómo y dónde se producen ambos tipos de fatiga, para que se tenga una idea clara de los fenómenos que se quieren reproducir en el banco.

Tension-Tension-Fatigue. Como consecuencia de esfuerzos longitudinales variables de tracción, todos los eslabones de la cadena de fondeo sufren tensiones variables que producen fatiga. En la Figura 2 se detallan las zonas en las que dicha tensión cíclica es crítica frente a un eventual fallo a fatiga, para cualquiera de los eslabones:

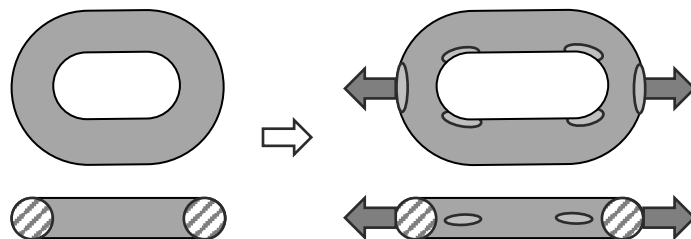


Figura 2. Zonas de tensión máxima bajo esfuerzos de tracción

Los ensayos en los cuales se reproduce este fenómeno suelen comprender típicamente entre 7 y 15 eslabones en los que, en un principio, a excepción de los eslabones extremos, se da el mismo estado tensional a lo largo del tiempo.

Out-of-Plane-Bending-Fatigue. Como consecuencia de los esfuerzos transversales, podría interpretarse que las uniones entre eslabones se comportan como articulaciones. Sin embargo, debido a que las cadenas se encuentran siempre cargadas longitudinalmente, las fuerzas de contacto de compresión que se desarrollan en las interfaces, generan momentos de fricción que se oponen a que un eslabón deslice con respecto al subsiguiente; esto hace que los eslabones trabajen a flexión. La orientación del eslabón que más tensiones de flexión sufre es aquella que muestra menor momento de inercia en el plano de la curvatura adquirida por la cadena, y el eslabón particular que más flexión sufre es el primer eslabón libre.

Dicha flexión aumenta hasta llegar a un valor en el que el eslabón comienza un movimiento combinación de rodadura + deslizamiento, tras lo que la cadena se reorienta, pierde la flexión y pasa a aguantar un esfuerzo predominantemente de tracción.

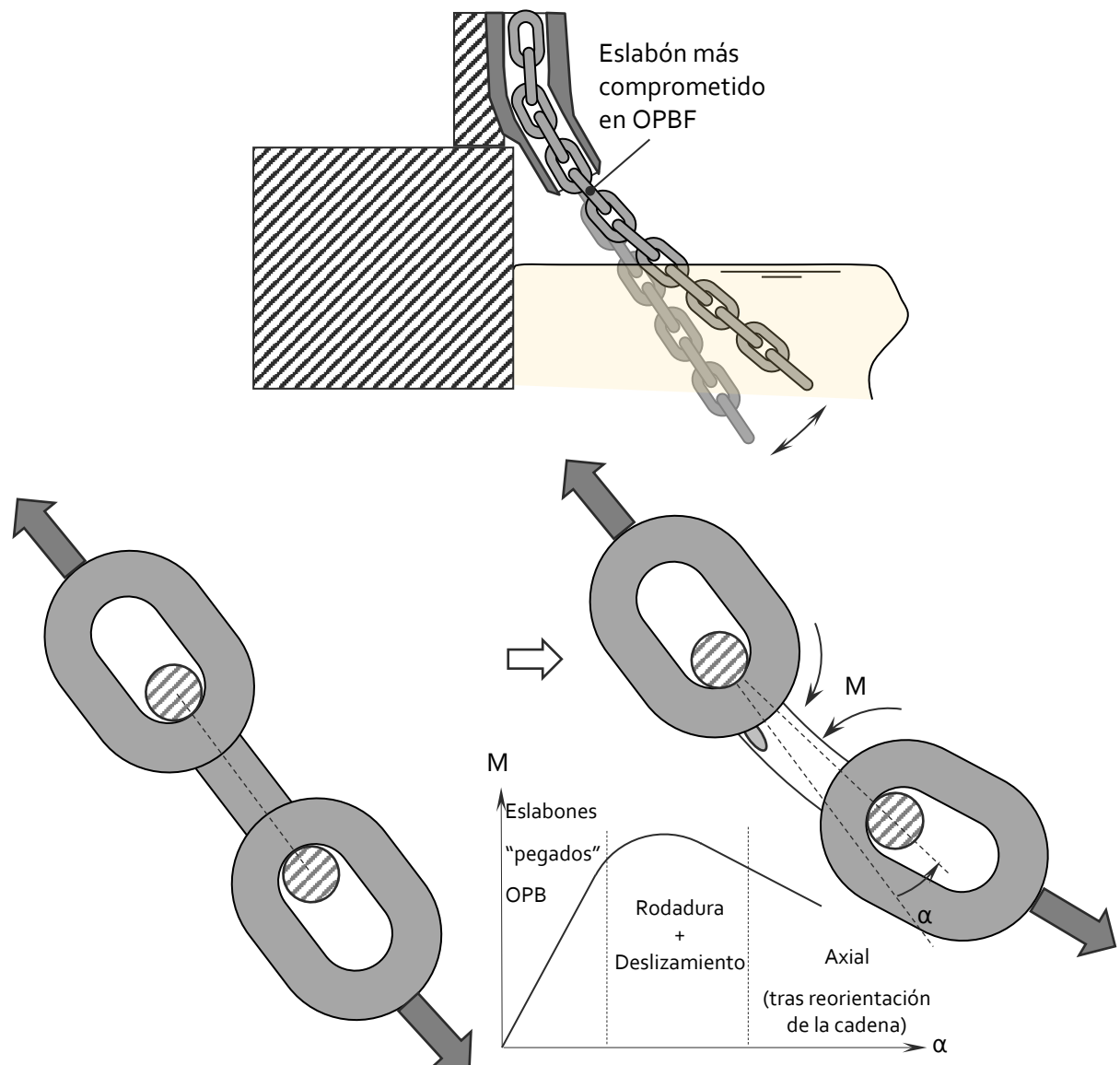


Figura 3. Fenómeno de Out-Of-Bending-Fatigue

3. ESPECÍMENES DE ENSAYO

TIPOS DE ESPÉCIMEN

Los especímenes de ensayo consistirán en varios eslabones unidos consecutivamente, pudiendo incluir conectores especiales denominados conectores articulados, ideados para minimizar el efecto del OPBF.

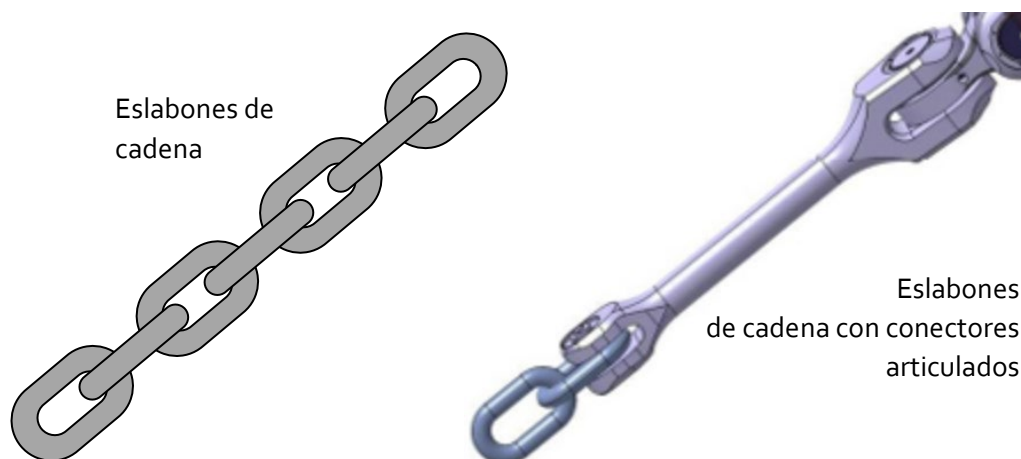


Figura 4. Especímenes de ensayo

GEOMETRÍA DE LOS ESLABONES

En los eslabones de cadena se respetan las medidas indicadas en la Figura 5, expresadas en función del diámetro de la sección del eslabón D . Los valores de D que se van a considerar en esta especificación van desde los 70 mm hasta los 180 mm.

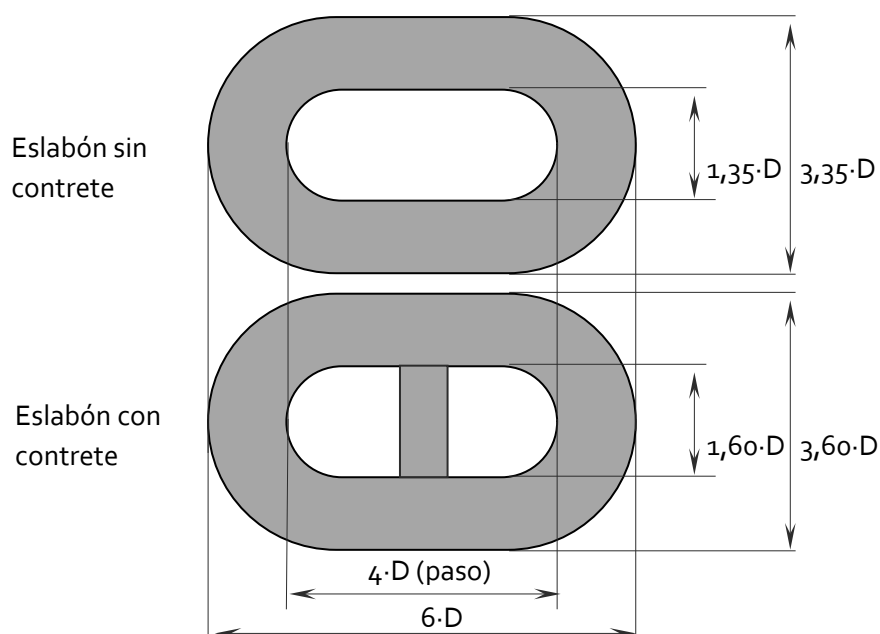


Figura 5. Geometría de los eslabones

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Las masas por metro lineal de cadena montada se calculan mediante las siguientes fórmulas aproximadas:

$$m \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] = 19.900 \cdot (D[\text{m}])^2 \quad \text{para el caso de eslabón sin concreto}$$

y

$$m \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] = 21.900 \cdot (D[\text{m}])^2 \quad \text{para el caso de eslabón con concreto}$$

CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA

La resistencia a la rotura (MBL = Minimum Breaking Load) de un eslabón sometido a esfuerzos de tracción viene determinada por la siguiente fórmula aproximada:

$$\text{MBL}[\text{kN}] = C \cdot (D[\text{m}])^2 \cdot (44 - 80 \cdot D[\text{m}])$$

Donde C es una constante dependiente del grado del material: R3: 22.300, R4: 27.400, R5: 32.000

CARACTERÍSTICAS DE RIGIDEZ

La rigidez que presentan los especímenes de ensayo es fundamental para estimar convenientemente las relaciones fuerza-deformación de los sistemas de accionamiento.

RIGIDEZ FRENTE A ACCIONES LONGITUDINALES.

La rigidez dependiente del diámetro del eslabón viene dada por el parámetro E·A según la siguiente tabla:

Eslabón con concreto		(E·A)[kN]=	$30,7 \cdot \pi \cdot (D[\text{mm}])^2$
Eslabón sin concreto	Grado R3		$\pi \cdot (27 - 0,02 \cdot D[\text{mm}]) \cdot (D[\text{mm}])^2$
	Grado R4		$\pi \cdot (27,25 - 0,0125 \cdot D[\text{mm}]) \cdot (D[\text{mm}])^2$
	Grado R5		$\pi \cdot (30 - 0,0165 \cdot D[\text{mm}]) \cdot (D[\text{mm}])^2$

Donde la deformación de la cadena montada de longitud L bajo la carga F viene dada por la fórmula:

$$\delta[\text{mm}] = \frac{F[\text{kN}] \cdot L[\text{mm}]}{(E \cdot A)[\text{kN}]}$$

Hay que apuntar aquí que la deformación real en disposición horizontal puede llegar a doblar el anterior valor debido a asentamientos, holguras, y el hecho de que bajo el peso propio la cadena tiene una deformada inicial.

RIGIDEZ FRENTE A ACCIONES TRANSVERSALES.

Esta rigidez es precisamente la que gobierna el OPB, es decir, es la que relaciona el momento aplicado en el eslabón que sufre OPBF con el ángulo del extremo deformado. A continuación, se reproduce una fórmula que aparece en [1], interpolada a partir de simulaciones que da el momento flector M en función del ángulo de la deformada α , la tensión longitudinal T y la dimensión del eslabón dado por su diámetro D. La interpolación ha sido materializada para diámetros entre D=84 mm y D=127 mm, de tal forma que para diámetros fuera de este rango las expresiones analíticas pueden llegar a no ser fiables. De hecho, algunas simulaciones revelan que puede tomarse como límite de validez D=110 mm.

$$M(\alpha_i, T, D) = 69,5 \cdot D^3 \frac{P(\alpha_i)}{0,93 + P(\alpha_i)} \left(\frac{T}{0,14 \cdot D^2} \right)^{a(\alpha_i)} \left(\frac{D}{100} \right)^{2a(\alpha_i) + b(\alpha_i)}$$

donde:

M: Momento entre eslabones [N·mm]

α_i : Angulo girado [grados]

T: Tensión [kN]

D: Diámetro del eslabón [mm]

$$P(\alpha_i) = \alpha_i + 0,307\alpha_i^3 + 0,048\alpha_i^5$$

$$a(\alpha_i) = 0,439 + 0,532 \tanh(1,020\alpha_i)$$

$$b(\alpha_i) = -0,433 - 1,640 \tanh(1,320\alpha_i)$$

Y donde dicho valor del momento está limitado por la siguiente expresión, que marca el límite entre las zonas de “eslabones pegados” y “rodadura+deslizamiento” de la Figura 3 :

$$M(T, D) = \mu \cdot T \cdot \frac{D}{2}$$

Donde μ es el coeficiente de fricción, que se toma como 0,3 en agua de mar y como 0,5 en contacto seco entre eslabones.

Simulaciones realizadas en una Master Thesis de junio de 2017 [2], apuntan a que la fórmula de Bureau Veritas sobreestima la rigidez a flexión en un valor que va de 2 a 2,5 veces para un valor del diámetro igual a 175 mm.

CONECTORES ARTICULADOS

El banco debe poder ensayar conectores articulados para uniones estructura flotante – línea de fondeo. La Figura 6 muestra un ejemplo de conjunto a ensayar, de unas dimensiones de 8m x 1,2m x 1,2 m y 10 toneladas de peso

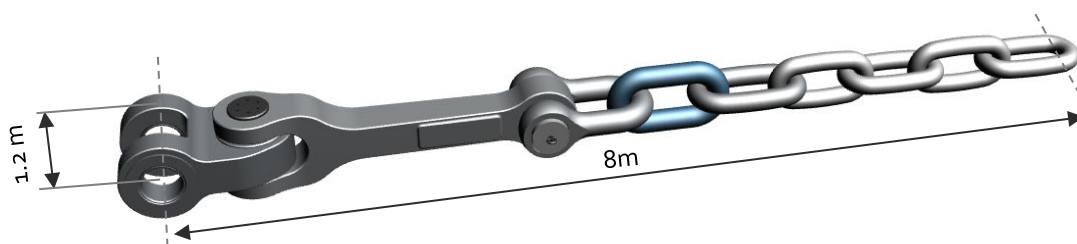


Figura 6. Conector articulado.

4. POSIBLES ARQUITECTURAS DEL BANCO DE ENSAYOS

En el banco se han de poder realizar ensayos de TTF y OPBF. Por ello, en dicho banco han de poder aplicarse dos tipos de solicitaciones cuyas magnitudes y características se detallarán en el apartado siguiente: una acción axial y una acción transversal, tal y como se indica esquemáticamente en la Figura 1. A continuación se esquematizan dos arquitecturas que pueden considerarse para el banco, no siendo éstas excluyentes. Podrá utilizarse cualquier otra arquitectura que demuestre ser capaz de introducir adecuadamente las acciones requeridas por los ensayos.

VS1-- Se valorarán aquellas arquitecturas que, cumpliendo con los requisitos de este documento, permitan reproducir los fenómenos a estudio de la forma más realista posible y a la vez con la mayor sencillez y fiabilidad.

VS2-- Se valorarán aquellas arquitecturas que permitan un mayor grado de automatización de los ensayos.

VS3-- Se valorarán aquellas arquitecturas con mayor seguridad, eficiencia energética y menores requerimientos de obra civil.

ARQUITECTURA JIP2007

Esta arquitectura fue utilizada en el OPB Joint Industry Project de 2007. Un esbozo de dicha arquitectura, así como una amplia recopilación de resultados de ensayos realizados en la misma, puede encontrarse en [3]. En la Figura 7 aparece un esbozo de dicha arquitectura.

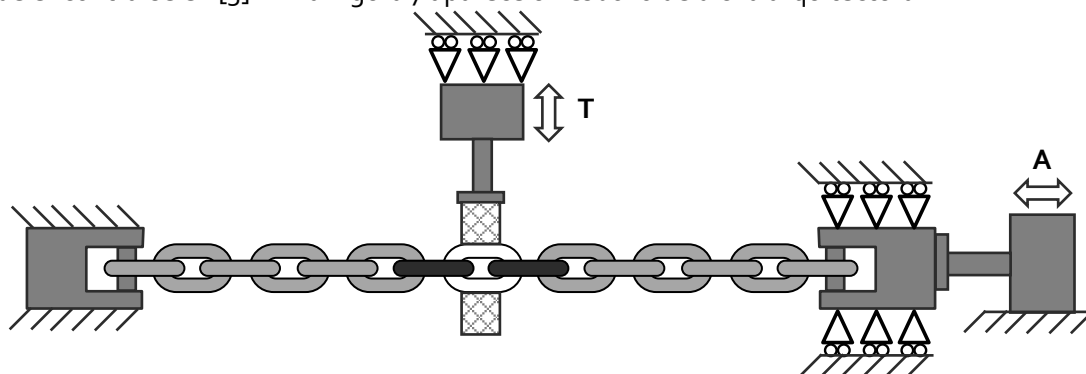


Figura 7. Arquitectura JIP2007

En un ensayo TTF se tracciona el espécimen mediante el accionamiento A de forma periódica, mientras que el accionamiento T permanece inactivo. En teoría, todos los eslabones están sometidos al mismo esfuerzo; por tanto, sería suficiente con disponer 10 eslabones en el banco.

En un ensayo OPBF, se tracciona el espécimen con una acción constante controlada mediante el accionamiento A, y se activa el accionamiento T de forma cíclica. Los eslabones más comprometidos desde el punto de vista del OPB son los marcados en color negro, es decir, los adyacentes al eslabón central marcado en blanco; por tanto, habría que disponer de 6 eslabones adyacentes a cada uno de ellos, con lo que el número total de eslabones tendría que poder llegar a ser de 15.

Esta arquitectura implica flexionar dos segmentos de cadena al mismo tiempo y los esfuerzos transversales serán mayores que en la siguiente arquitectura, así como la longitud de los especímenes a ensayar.

ARQUITECTURA DNV2016

Esta arquitectura fue utilizada para ensayos estáticos por parte de DNV-GL (Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd) a fin de determinar los momentos y las tensiones de OPB en función de los esfuerzos axiales y transversales.

Un esbozo de dicha arquitectura, así como una correlación de resultados mediante análisis de elementos finitos, puede encontrarse en la Figura 4.1 de [2]. En la Figura 8 aparece un esbozo de dicha arquitectura.

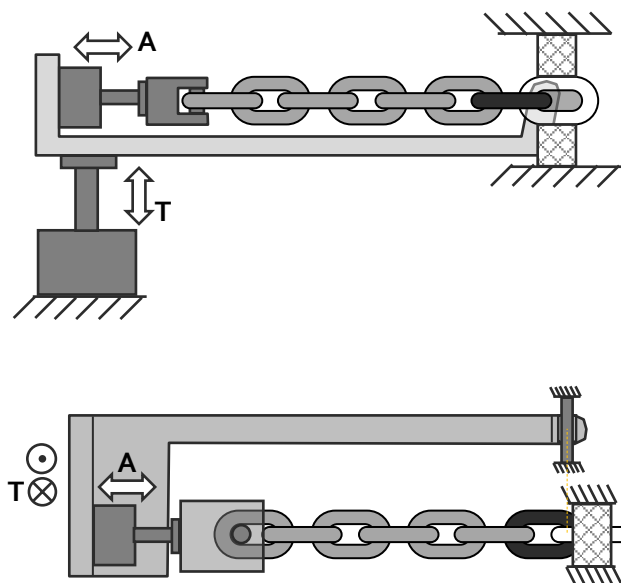


Figura 8. Arquitectura DNV2016

Al contrario que en la anterior arquitectura, en este caso, tanto en los ensayos OPBF como en los ensayos TTF se dispondrá el mismo número de eslabones. Asimismo, esta arquitectura se asemeja más al comportamiento de las cadenas en servicio.

5. ACCIONES A INTRODUCIR. ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS

ENSAYOS TTF

El accionamiento A debe poder dotar de una carga axial variable con los siguientes valores máximos y frecuencia.

Fuerzas axiales en ensayos TTF	Valor de pico [kN]	Frecuencia [Hz] rango 1.000 kN	Frecuencia [Hz] rango 2.000 kN	Frecuencia [Hz] rango 5.000 kN
Mínimo	8.000	0,9	0,6	0,3
Deseable	9.500	1,0	0,7	0,4

VO1 -- Se valorará el grado de cumplimiento de los valores deseables indicados en la tabla.

En cuanto a los desplazamientos asociados a los esfuerzos anteriores, son de aplicación las fórmulas del apartado 2, junto con la observación sobre el valor real de la deformación en comparación con el teórico. Además de esta deformación hay que tener en cuenta que, durante los ensayos, las cadenas se van alargando debido al desgaste en los contactos entre eslabones, y especialmente debido a la aparición de grietas.

VS4 -- Se valorará que la máquina ofertada tome en cuenta estos fenómenos de desgaste y aparición de grietas.

La siguiente tabla muestra valores máximo, medio y mínimo de las cargas en los ciclos de carga para 8 ensayos típicos, así como el valor mínimo de frecuencia requerida (forma armónica).

Ensayo	Carga Mínima [kN]	Carga Media [kN]	Carga Máxima [kN]	Rango [kN]	Frecuencia [Hz]	Diam. cadena ref. [mm]
1	3.777	5.811	7.845	4.068	0,35	170
2	2.304	4.608	6.912	4.608	0,3	170
3	3.690	5.390	7.090	3.400	0,4	170
4	2.096	3.493	4.890	2.795	0,5	127
5	3.893	4.960	6.026	2.133	0,6	127
6	2.168	2.991	3.814	1.645	0,7	127
7	720	1.200	1.680	960	0,9	76
8	301	602	903	602	1,0	76

El banco debe estar dimensionado para soportar las siguientes cargas de fatiga TTF durante su vida útil

Carga Mínima [kN]	Carga Media [kN]	Carga Máxima [kN]	Rango [kN]	Diam. cadena ref. [mm]	Frecuencia [Hz]	Ciclos
3.000	5.500	8.000	5.000	170	0.4	2E7
2.000	3.500	5.000	3.000	127	0.6	2E7
700	1.200	1.700	1.000	76	1	2E7

ENSAYOS OPBF

El accionamiento A debe poder dotar de una carga axial constante de un valor de hasta el 25% de la carga de rotura. Simultáneamente el accionamiento B debe poder aportar en el eslabón de interés un momento de pico igual al límite del momento de fricción:

$$M_{\text{limite}} = \mu T \frac{D}{2}$$

Fuerzas axiales estacionarias en ensayos OPBF	Valor [kN]
Mínimo	7.000
Deseable	8.000

Momentos en ensayos OPBF	Valor de pico [kN.m]	Frecuencia [Hz]
Mínimo	450	0,2
Deseable	500	0,5

VO2-- Se valorará el grado de cumplimiento de los valores deseables indicados en las tablas.

En cuanto al desplazamiento de los actuadores asociados a los momentos anteriores, hay que tener en cuenta la evolución del ángulo entre eslabones α_i a lo largo de la cadena. Los diferentes modelos de análisis demuestran que el ángulo que forma el desplazamiento total del extremo de la cadena no suele superar 1,2 veces el ángulo del primer eslabón sometido a OPB. En la Figura 9 se refleja este hecho en la arquitectura DNV2016.

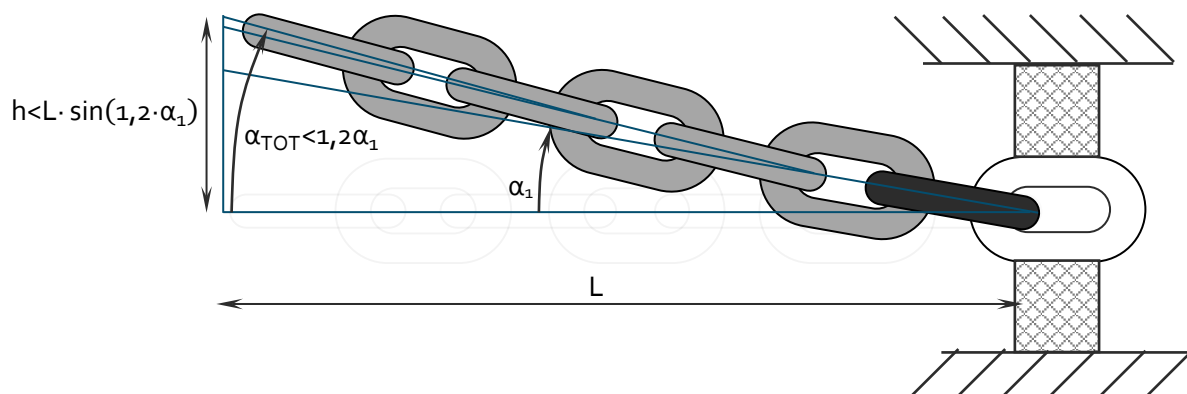


Figura 9. Desplazamiento de la cadena

En cuanto al ángulo de ensayo, es decir, el ángulo al que hay que someter al eslabón con más OPB en el ensayo es como máximo de $\pm 1,5^\circ$, si bien previo a este ensayo se necesita realizar un ensayo estático con un ángulo que pueda llegar hasta los $\pm 4^\circ$, ensayo que se denominará “Ensayo Pre-OPBF”.

El banco debe estar dimensionado para soportar las siguientes cargas de fatiga OPBF durante su vida útil.

Carga axial [kN]	Carga de fatiga [kNm]	Diam. cadena ref. [mm]	Frecuencia [Hz]	Ciclos
8.000	+/-500	170	0.2	2E7

ENSAYOS PRE-OPBF

Tal y como ya se ha apuntado, antes de realizar y planificar un ensayo OPBF, puede ser necesario realizar un ensayo previo en el que se caracterice debidamente la curva momento-ángulo, con lo que se quiere poder alcanzar de forma cuasiestática un recorrido correspondiente a 4 grados del eslabón con más OPB.

6. INTERFACES ENTRE MÁQUINA DE ENSAYO Y ESPÉCIMEN DE ENSAYO

Los amarres entre máquina y espécimen de ensayo han de materializarse entre los eslabones extremos. Dichos amarres deben respetar lo más fielmente posible las condiciones de contorno del funcionamiento real de una cadena de fondeo.

Por una parte, está el eslabón extremo adyacente al eslabón con más OPB (marcado de blanco en las Figuras 7, 8 y 9). Este eslabón ha de amarrarse con unas mordazas en las caras superiores e inferiores de tal forma que no se permita movimiento alguno ni deformaciones excesivas que comprometan la geometría del contacto con el eslabón siguiente (eslabón OPB) y por tanto los resultados del ensayo.

Por otra parte, en el extremo opuesto del espécimen, está el eslabón que se denomina “libre”, y ha de tener la disposición que aparece en las Figuras. El útil de amarre ha de diseñarse de tal forma que

no introduzca esfuerzos que en la práctica no aparecen. En la Figura 10 aparecen las dos disposiciones que pueden tener los amarres para cualquiera de las arquitecturas.



Figura 10. Disposición de los amarres del eslabón libre

Un ejemplo de amarre que se utiliza para ensayos TTF y que funciona particularmente bien, se consigna de forma paramétrica en la Figura 11.

El sistema de amarre debe cubrir el rango completo de tamaños de los especímenes de ensayo, ya sea con un único amarre universal o bien con varios juegos. En cuanto a los ensayos OPBF, sea cual fuere el útil de amarre diseñado, debe poder garantizar que no se genere en el amarre un fenómeno OPBF mayor que en el eslabón de interés, lo cual puede ocurrir por ejemplo si se emplean arillos.

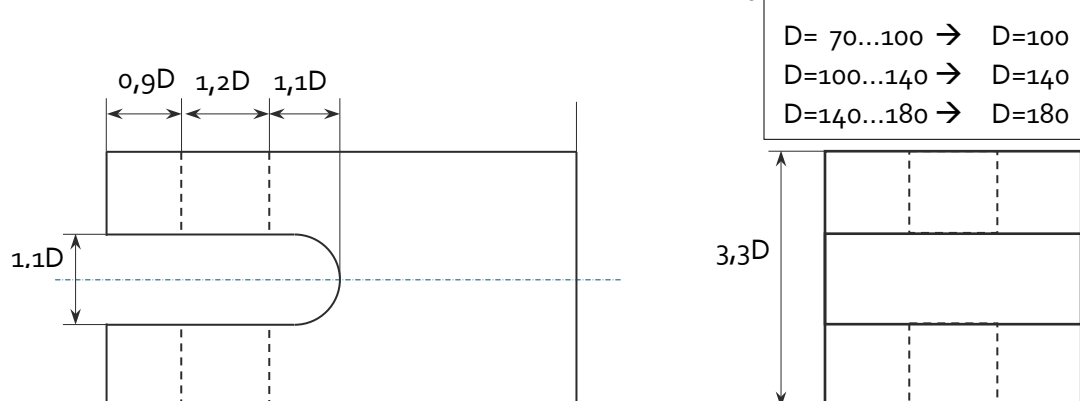


Figura 11. Ejemplo de amarres

En cuanto al número de eslabones por espécimen, para ensayos OPBF se requieren al menos 7 eslabones adyacentes al eslabón objeto de estudio. Para ensayos TTF, se requieren al menos 10 eslabones.

VS5-- En igualdad de condiciones, se valorarán mejor las arquitecturas que puedan albergar especímenes de ensayo con mayor número de eslabones. A su vez, se valorará que la longitud entre amarres se pueda adaptar a un menor número de eslabones.

Por otra parte, ya se ha indicado que además de especímenes que incluyen únicamente eslabones, se tienen que poder ensayar conjuntos con conectores articulados como el de la Figura 4 (derecha). Las tipologías de conectores pueden ser diferentes, con lo que se propone una interfaz con la máquina (para la parte del conector articulado) consistente en un chapón con varios patrones de perforado como el de la Figura 12 (aunque se admiten otras propuestas) que pueda dar cabida a diferentes tamaños de espécimen de ensayo que incluya conectores.

VS6-- Se valorará el sistema de amarre propuesto en cuanto a versatilidad, intercambiabilidad, robustez y sencillez, y que permita reproducir los fenómenos de ensayo de forma realista.

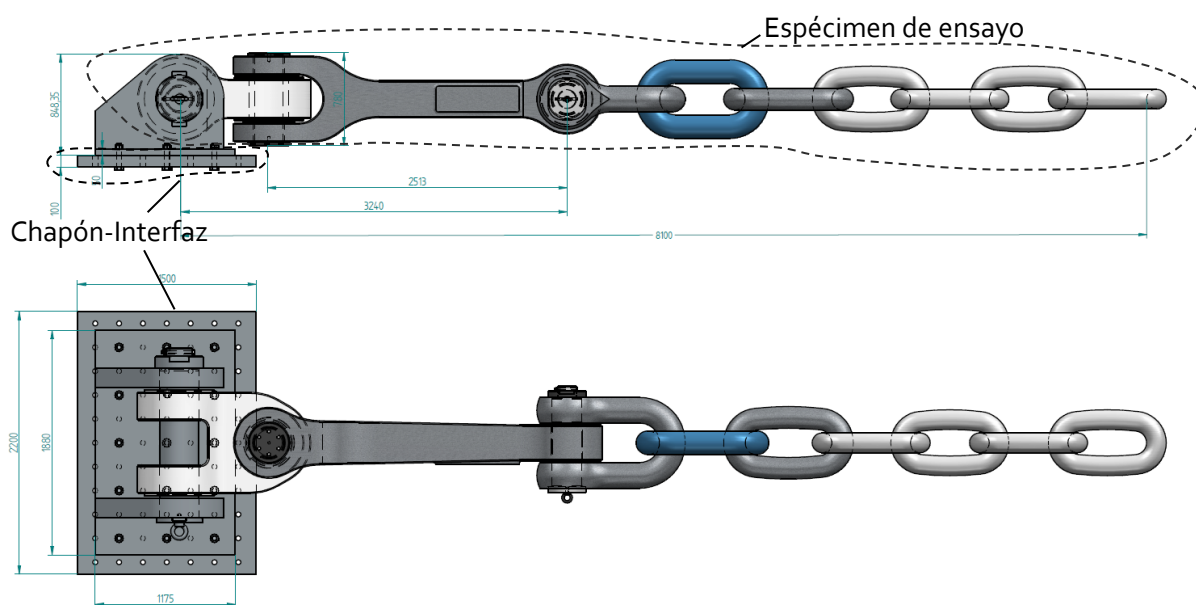


*Figura 12. Ejemplo de amarre para especímenes que incluyen conector.
Montaje para D=165 mm*

7. OTRAS CONDICIONES DE ENSAYO

Los ensayos tienen que poderse hacer en seco o sumergidos, es decir, el espécimen de ensayo debe poder estar en contacto con un medio líquido, incluyendo el conector en su caso. Cuantos más eslabones puedan estar completamente sumergidos, mejor se valorará la propuesta.

Se requiere un sistema para sumergir los especímenes, así como los elementos asociados para la preparación del medio líquido, bombeo, recirculación, etc.

En ensayos TTF, los eslabones de los extremos pueden estar total o parcialmente sin sumergir, estando los eslabones segundo y penúltimo total o parcialmente sumergidos, y el resto de los eslabones totalmente sumergidos.

En ensayos OPBF, los eslabones que más OPB sufran deberán poder estar completamente sumergidos, pudiendo dejarse excepcionalmente sin sumergir completamente aquellos eslabones más alejados de los que sufren mayor OPB. El medio líquido de ensayos sumergidos será agua de mar sintética, es decir, agua con sal con una concentración de 35 gr/litro. De acuerdo con todo lo anterior, la máquina se ha de proveer de las correspondientes soluciones de estanqueidad. En una reciente publicación [4] se detalla, entre otras interesantes cuestiones, una solución de estanqueidad basada en un tanque flexible.

VS7-- Se valorará la robustez, facilidad de montaje, adaptabilidad a los especímenes, longitud, y estanqueidad del sistema de inmersión.

La máquina debe poder adaptarse a un número variable de eslabones por espécimen y a un tamaño variable de eslabones. Para ello, se estima que la distancia entre amarres debe poder variar entre 3 metros y 8 metros en la arquitectura DNV2016 y entre 5 metros y 12 metros en la arquitectura JIP2007.

8. MAGNITUDES DE ENSAYO A MEDIR Y CONTROL

Si bien la mayor parte de la sensorización necesaria para los especímenes de ensayo será totalmente independiente del banco de ensayo, sí que es necesario medir con precisión las magnitudes que sirven para el control y monitorización de los ensayos. En particular:

- Se ha de poder medir la carga axial que sufre el espécimen de forma directa mediante células de carga o bulón de carga en la línea de carga del espécimen de ensayo.
- Se ha de poder medir el alargamiento axial que sufre el espécimen de ensayo.
- En los ensayos OPBF de cadenas se ha de poder medir el ángulo que experimenta el primer eslabón en modo OPB.
- En los ensayos OPBF de conectores articulados se ha de poder medir el ángulo que experimenta el segundo conector.
- En los ensayos OPBF se ha de poder medir el momento de flexión que experimenta el eslabón en modo OPB o el segundo conector.

El sistema de control debe ser en lazo de carga en base a medida directa en la línea de carga del espécimen.

Se valorará un sistema de control adicional en base a transductores de presión.

El sistema de control debe garantizar la precisión requerida en el siguiente apartado.

VS8-- Se valorará la precisión y la calidad general del sistema de medición y control propuesto.

9. CALIBRACIÓN

El banco de ensayos deberá ser Verificado y Calibrado como Clase 1, mediante medidas directas de carga entre amarres, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 7500-1:2018 – “Materiales metálicos. Calibración y verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Calibración y verificación del sistema de medida de fuerza”.

La calibración debe realizarse con un patrón de calibración (transductor de fuerza) situado en el lugar del espécimen. El patrón debe ser de menor clase, ej. 0,5, y estar certificado por laboratorio acreditado para el nivel de cargas requerido, ej. PTB. El patrón deberá ser acorde a los esfuerzos mínimos y deseables descritos en la tabla de ensayos de TTF y estar incluido en la entrega del banco.



Figura 13. Ejemplo de célula de carga patrón.

Las series de medida deben incluir el 10% del alcance máximo de la escala, y al menos 5 medidas entre el 20% y el 100% igualmente espaciadas.

En todas las series el error de precisión respecto del patrón debe ser menor que el 1%.

VO3-- Se valorará un error de precisión respecto del patrón menor del 0.5% en todas o en la mayoría de las lecturas.

10. CONDICIONES PARTICULARES PARA LA ACEPTACIÓN DEL BANCO

El banco de ensayos deberá ser probado para demostrar su funcionalidad y precisión en las siguientes pruebas, y deberá mantener su integridad y precisión durante las mismas, y no experimentar ninguna parada.

PRUEBA 1. TT SOBRE CADENA DE 170-180 MM EN AGUA

Carga Mínima [kN]	Carga Media [kN]	Carga Máxima [kN]	Rango [kN]	Frecuencia [Hz]	Diam. cadena ref. [mm]	Ciclos
3.777	5.811	7.845	4.068	0,35	170	50.000

- Monitorización: carga axial en el espécimen mediante medida directa y desplazamiento parte móvil.
- Error de precisión, carga consigna Vs carga medida <1 % en todos los ciclos.

PRUEBA 2. TT SOBRE CADENA DE 76 MM EN AGUA, 50.000 CICLOS

Carga Mínima [kN]	Carga Media [kN]	Carga Máxima [kN]	Rango [kN]	Frecuencia [Hz]	Diam. cadena ref. [mm]	Ciclos
301	602	903	602	1	76	25.000
720	1.200	1.680	960	0,9	76	25.000

- Monitorización: carga axial en el espécimen mediante medida directa y desplazamiento parte móvil.
- Error de precisión, carga consigna Vs carga medida <1 % en todos los ciclos.

PRUEBA 3. OPB/TT SOBRE CADENA DE 170-180 MM EN AGUA, 200 CICLOS

Carga axial:	7.000 kN
Ángulo en primer eslabón sometido a OPB:	-4/+4 grados
Frecuencia:	0,05 Hz

- Monitorización: carga axial en el espécimen mediante medida directa y desplazamiento parte móvil.
- Monitorización del ángulo del primer eslabón en OPB y del momento de OPB.
- Error de precisión, carga consigna Vs carga medida <1 % en todos los ciclos.

PRUEBA 4. OPB/TT SOBRE CADENA DE 170-180 MM EN AGUA, 25.000 CICLOS

Carga axial:	7.000 kN
Ángulo en primer eslabón sometido a OPB:	-1/+1 grados
Frecuencia:	0,2 Hz

- Monitorización: carga axial en el espécimen mediante medida directa y desplazamiento parte móvil.
- Monitorización del ángulo del primer eslabón en OPB y del momento de OPB. Error de precisión, carga consigna Vs carga medida <1 % en todos los ciclos.

PRUEBA 5. OPB/TT SOBRE CADENA DE 76 MM EN AGUA, 25,000 CICLOS.

Carga axial:	1.200 kN
Ángulo en primer eslabón sometido a OPB:	-1/+1 grados
Frecuencia:	0,5 Hz

- Monitorización: carga axial en el espécimen mediante medida directa y desplazamiento parte móvil.
- Monitorización del ángulo del primer eslabón en OPB y del momento de OPB.
- Error de precisión, carga consigna Vs carga medida <1 % en todos los ciclos.

11. PLAN DE FORMACIÓN

El plan de formación deberá cumplir con la capacitación del personal antes, durante y después de la puesta en marcha, y se incluirá el montaje, programación y control de cada ensayo, tanto de ensayos TTF como de OPBF. En general, se deberá dar la formación necesaria para que los usuarios de la máquina puedan conocer, entender y utilizar todas sus funcionalidades y sean capaces de realizar cualquier ensayo, incluyendo las operaciones previas y posteriores a los mismos.

VS9 -- Se valorará la propuesta de entrenamiento del personal.

12. GARANTÍA

Se requiere una garantía mínima de 2 años a partir de la aceptación completa de la máquina.

VS10 -- Se valorará el grado de cobertura de la garantía, así como años adicionales de garantía.

13. SEGURIDAD REGULACIONES A CUMPLIR

Se requiere que el diseño de la maquina esté de acuerdo con las reglas técnicas y de seguridad de la Comunidad Europea. Debe llevar marcado CE. Se requiere también que la máquina cuente con medidas de alarma y seguridad para asegurar la integridad tanto de los operarios como de las instalaciones propiamente dichas a lo largo de todo su proceso de utilización, así como de los especímenes de ensayo durante su fase de manejo y montaje/desmontaje.

14. REQUISITOS DE OBRA CIVIL E INTEGRACIÓN POR PARTE DEL BANCO OFERTADO

De cara al futuro proyecto de obra civil e integración, se deberá incluir información detallada sobre los requisitos (cuyo coste no correrá a cargo del ofertante) que la planta deberá cumplir para alojar y operar correctamente la máquina.

Por tanto, la oferta deberá describir de forma detallada todos los requisitos (cuyo coste no correrá a cargo del ofertante) que la planta deberá cumplir para alojar y operar correctamente la máquina en todos aquellos aspectos que el ofertante considere necesario. Como mínimo:

- Plano general y layout propuesto para el banco, y descripción de todos aquellos requisitos dimensionales y de carga que vayan a condicionar la futura obra civil necesaria para la instalación e integración del banco.
- Equipamiento y suministros necesarios para alimentar la máquina y garantizar la seguridad.

VS-11 -- Se valorará que tanto el espacio ocupado como las acciones necesarias de obra civil e integración en el espacio disponible en la planta del EIC y requeridas por el banco de cara a asegurar su correcto funcionamiento y seguridad, sean mínimos.

15. REFERENCIAS

- [1] Fatigue of Top Chain of Mooring Lines due to In-Plane and Out-of-plane Bendings, Guidance Note NI 604 DT Roo, Bureau Veritas, Marine - Offshore Division, October 2014.
- [2] Berthelsen, K., Out of Plane Bending of Mooring Chains. Finite Element Analysis of a 7-Link Model. Master Thesis at the Norwegian University of Science and Technology, June 2017.
- [3] Rampi, L., Dewi, F., Vargas, P., Chain Out of Plane Bending (OPB) Joint Industry Project (JIP) Summary and Main Results. OTC-25779-MS, Offshore Technology Conference 2015, Houston, Texas, USA, 4-7 May, pp. 1520-1551, 2015.
- [4] Barros, P., Carlberg, E., Hogsæet, I.S., Karimi, M.R., Braun, J., Gooijer, E., Vargas, P., Out-of-plane bending (OPB) Test of large diameter mooring chains. Proceedings of the OMAE2020, August 3-7, 2020, Virtual, Online. Paper number OMAE2020-18805.
- [5] Karimi, M.R., Barros, P., Carlberg, E. Vargas, P., Out-of-Plane Bending (OPB) Test of Large Diameter Mooring Chains: Test Results. OMAE2021-62762