

INFERENCIA DE LA TENSIÓN DE TRABAJO DE LAS RIENDAS DE UN MÁSTIL ATIRANTADO A PARTIR DE LA TÉCNICA AVM

INFERENCE OF THE WORKING TENSION OF THE GUYS OF A GUYED MAST FROM AVM TECHNIQUE

Alberto M. Guzmán, Francisco A. Calderón, Gerardo A. González del Solar, Gustavo L. Palazzo, Sergio G. Acosta y Claudio D. Dagne

CeReDeTeC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodriguez 273, Ciudad, Mendoza (M5502AJE), Argentina, mguzman@frm.utn.edu.ar

Palabras clave: mástil atirantado, riendas, AVM, estado tensional.

Resumen. A fin de garantizar la serviciabilidad de las comunicaciones, se requiere que en su servicio los mástiles atirantados presenten un plan de mantenimiento que permita evaluar distintos aspectos relevantes para su adecuado funcionamiento estructural, entre los cuales se destaca, controlar la tensión de trabajo de las riendas. Para ello, las técnicas previstas corresponden al método directo y al indirecto. Ambos presentan ventajas y desventajas. El directo, precisión en la medición pero un equipamiento poco disponible, el indirecto, simplicidad en la ejecución pero imprecisión en los resultados. Como una alternativa a lo anterior, en la presente investigación se propone inferir el estado tensional de riendas a partir de la medición de sus frecuencias naturales mediante la técnica conocida como Ambient Vibration Measurements (AVM), para luego y valiéndose de la teoría de vibración de cables, inferir la tensión en estos. En el presente trabajo, dicha técnica fue aplicada en las riendas de un mástil atirantado existente. Las tensiones inferidas de este modo, fueron luego cotejadas con mediciones llevadas a cabo mediante el método directo, así como también, con resultados obtenidos de modelaciones numéricas.

Keywords: guyed masts, guys, AVM, tension state.

Abstract. In order to guarantee the serviceability of communications, it is required that the guyed mast present a maintenance plan that allows the evaluation of different relevant aspects for their adequate structural performance, among which it is important to control the working tension at which the guys are located. For this, the planned techniques correspond to the direct and indirect methods. Both have advantages and disadvantages. The direct, precision in measurement but little available equipment, the indirect, simplicity in execution but imprecision in the results. As an alternative to the above, in the present investigation it is proposed to infer the tensional state of reins from the measurement of their natural frequencies using the technique known as Ambient Vibration Measurements (AVM), and then using the vibration theory of cables, infer the tension in them. In the present work, this technique was applied to the reins of an existing guyed mast. The stresses inferred in this way were then compared with measurements carried out by the direct method, as well as with results obtained from numerical modeling.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria de las comunicaciones los sistemas estructurales mástiles atirantados son ampliamente utilizados para dar sustento a los diversos dispositivos de transmisión que suelen ser requeridos. Dichos dispositivos suelen resultar sensibles en su desempeño ante ciertas perturbaciones que pudieran presentarse en los mismos, motivados por la acción sobre la estructura de fenómenos naturales tales como sismo, viento y nieve. Por ello, las reglamentaciones o normas específicas (CIRSOC-306, 2018; ANSI/TIA-222-H, 2018) consideran limitaciones en los posibles giros o desplazamientos en servicio del mástil atirantado. Esto último y a fin de garantizar la seguridad estructural y la serviciabilidad de las comunicaciones, requiere que en su servicio los mástiles atirantados presenten un plan de evaluación que permita establecer su estado de mantenimiento y la condición estructural en la que se encuentran. Al respecto, las reglamentaciones establecen criterios específicos que permiten organizar este plan de evaluación requerido, el cual involucra distintos aspectos relevantes para el adecuado desempeño estructural y funcional, entre los cuales se destaca, la necesidad de controlar la tensión de trabajo a la cual se encuentran las riendas que estabilizan al mástil. Dicha necesidad obedece a asegurar que las riendas presenten el nivel de pretensión inicial (IP) que fuera establecido en el diseño.

El estudio de sensibilidad sísmica realizado por Amiri (2002) sobre ocho mástiles atirantados existentes, permitió establecer que si los efectos sísmicos verticales son considerados, las mástiles con cables poco tensos ($< 5\%$) resultan sensibles a la combinación de movimientos sísmicos horizontales y verticales. Por su parte, Hensley y Plaut (2007) determinaron en el análisis sísmico de un mástil atirantado mediante simulación numérica, que a medida que se aumentaba la tensión en las riendas menor resultaba ser la respuesta de desplazamiento lateral del mástil. Ante acciones de viento, una disminución en la tensión prevista para las riendas influye negativamente en la respuesta dinámica del mástil (Ballaben et al., 2017). Asimismo, la modificación de la tensión puede conducir a una amplificación de la respuesta sísmica para ciertos tipos de registros de aceleración (Guzmán et al., 2018). En ese sentido, en un estudio paramétrico de mástiles atirantados de baja altura (Guzmán et al., 2021), se evaluó la sensibilidad del periodo fundamental con la modificación de la tensión de las riendas. Se pudo establecer que para los casos considerados, tensiones de trabajo entre el 4 y 16 % no producían cambios significativos en el periodo del sistema. Complementariamente y en un estudio posterior (Guzmán et al., 2022), se evaluó el efecto que la rigidez de las riendas tiene sobre dicho periodo fundamental. Al respecto, resulta de suma importancia un control de mantenimiento preventivo del estado tensional que en servicio presentan las riendas, dado que un relajamiento de estas podría conducir a modificaciones significativas en el comportamiento dinámico de la estructura. Tensiones en las riendas del orden del 8 % hicieron que su rigidez tendiera a la elástica, con lo cual el periodo no resultó sensible frente a mayores incrementos en la tensión.

Por lo señalado, cabe destacar que las reglamentaciones establecen a los fines del diseño, que la tensión inicial de las riendas a una temperatura ambiente de 15°C deberá estar en el rango comprendido entre 7 y 15 % de la resistencia nominal a la rotura del cordón indicada por el fabricante (CIRSOC-306, 2018; ANSI/TIA-222-H, 2018). Aunque también señalan que se pueden utilizar valores fuera de estos límites, siempre que se considere la sensibilidad de la estructura frente a las variaciones de dicha tensión inicial. Dada entonces la importancia que implica controlar que las riendas en su condición de servicio no se relajen y mantengan los rangos de tensiones previstos en el diseño, resulta indispensable proceder con dicho control. De hecho, así lo establecen las reglamentaciones en sus apartados específicos, donde se señala la necesidad de llevar a cabo un plan de mantenimiento sobre los mástiles atirantados que permita

evaluar distintos aspectos relevantes para su adecuado funcionamiento estructural y funcional. Dentro de estos aspectos, se destaca controlar el nivel de tensión de trabajo al cual se encuentran las riendas que estabilizan al mástil. Para ello, las técnicas previstas corresponden al método directo y al indirecto. El método directo consiste en disponer de un dinamómetro sobre la rienda a evaluar, obteniendo la tensión al leer directamente sobre este. En el método indirecto se aplica un fuerte tirón a la rienda cerca de su unión al anclaje, provocando así un pulso que sube y baja por esta. Luego se cronometra un cierto número de retornos del pulso al anclaje y mediante unas expresiones se determina la tensión. Ambos métodos presentan ventajas y desventajas. El directo, la precisión en la medición pero un equipamiento habitualmente poco disponible, el indirecto, la simplicidad en la ejecución pero la imprecisión en la lectura de la cantidad de pulsos y en el cronometraje del tiempo en el que estos se desarrollan.

Como una alternativa a las anteriores, la evaluación del estado tensional en las riendas podría ser llevada a cabo a partir de la medición de sus frecuencias naturales mediante la técnica conocida como Ambient Vibration Measurements (AVM), para luego y valiéndose de las ecuaciones de la dinámica de cables, inferir la tensión de trabajo en las mismas. Dicha técnica ha tomado gran interés a nivel mundial en las últimas dos décadas (Michel et al., 2008), debido a su economía y simplicidad. A través de acelerómetros, se registran las vibraciones producidas en la estructura debido a condiciones ambientales, las que luego y mediante el procesamiento con un software específico, se obtienen los espectros de frecuencias donde las mismas son identificadas visualmente utilizando el método clásico denominado “peak peaking” (Bendat y Piersol, 1980).

Respecto a la técnica anteriormente señalada, investigaciones recientes han sido utilizadas para inferir el estado tensional de cables en puentes colgantes a partir de la relación entre la fuerza en estos y su frecuencia fundamental. He et al. (2021) evaluaron la influencia del ángulo de inclinación de los cables en la estimación de dicha fuerza, proporcionando expresiones prácticas para ello y estableciendo que la frecuencia fundamental disminuye con el aumento del ángulo de inclinación, lo cual puede producir errores significativos en la estimación de la fuerza del cable cuando no se considera el efecto del ángulo de inclinación. Por otra parte y desde una aplicación práctica, Koščo et al. (2024) estimaron la tensión de los cables de un puente colgante en Eslovaquia, a partir de vibraciones ambientales. Para ello tuvieron en cuenta la teoría de vibraciones en cables considerando incluso el efecto de la rigidez flexional de estos, observándose que ello no representó un aporte significativo a los resultados obtenidos con respecto a los casos en los que dicha rigidez no fue tomada en cuenta.

En cuanto a investigaciones en esta línea de evaluación experimental referidas a mástiles atirantados son pocas, y mucho menos en lo que hace a la evaluación en riendas. La aplicación de AVM a mástiles atirantados, entre los que se puede citar a Harikrishna et al. (2003); Ghafari Osgoie et al. (2012); Gentile y Ubertini (2012); Saudi (2014); Ismail (2016); Guzmán et al. (2019, 2023), han tenido por objetivo determinar frecuencias naturales del sistema estructural para la posterior calibración de los modelos numéricos. En lo que respecta específicamente a la evaluación de riendas de mástiles atirantados, Ghafari Osgoie et al. (2012) evaluaron en su trabajo la frecuencia fundamental de las riendas de un mástil existente para inferir su estado tensional a fin de actualizar el modelo numérico, pero no como una estrategia alternativa para el monitoreo y control del estado tensional de las riendas en un plan de mantenimiento. Para la inferencia de dicha tensión, utilizaron la ecuación de dinámica de un cable tenso.

Como objetivo de la presente investigación, se propone determinar mediante la técnica AVM las frecuencias naturales en cuatro riendas seleccionadas de un mástil atirantado existente, y a partir de ello, inferir su tensión de trabajo. Posteriormente, cotejar dichas tensiones con las que fueron obtenidas mediante el método directo en un control de mantenimiento llevado a cabo.

2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Los sistemas de monitoreo estructural se han convertido en una herramienta importante en el análisis y la evaluación de estructuras. Esta importancia subyace en la capacidad del sistema de monitoreo de proveer características dinámicas de una estructura como son las frecuencias naturales, y utilizarlas como resulta en este caso, para inferir el estado tensional que las riendas seleccionadas de un mástil atirantado presentan en servicio. Por lo tanto, la metodología propuesta en la presente investigación, consistió en:

- . Seleccionar un mástil atirantado existente y relevar su geometría.
- . Medir vibraciones ambientales (AVM) en las riendas seleccionadas, mediante el uso de un acelerómetro uniaxial de alta sensibilidad.
- . Determinar, a partir de las mediciones experimentales y mediante métodos de identificación de sistemas (*pick-picking*), las frecuencias naturales fundamentales de las riendas evaluadas mediante la utilización del software libre Geopsy y de rutinas de Matlab.
- . Inferir el estado tensional de las riendas a partir de la teoría de vibraciones de cables.
- . Modelar numéricamente las riendas evaluadas con distintos niveles de pretensión, hasta obtener como respuesta de interés la frecuencia fundamental experimentalmente medida.
- . Cotejar los estados tensionales experimental y numéricamente obtenidos, con las mediciones llevadas a cabo mediante el uso de un dinamómetro (método directo de medición).

3. MÁSTIL ATIRANTADO

En el predio que la Facultad Regional Mendoza (UTN) posee en el departamento Capital, Provincia de Mendoza, se encuentra emplazado un mástil atirantado (Fig. 1).

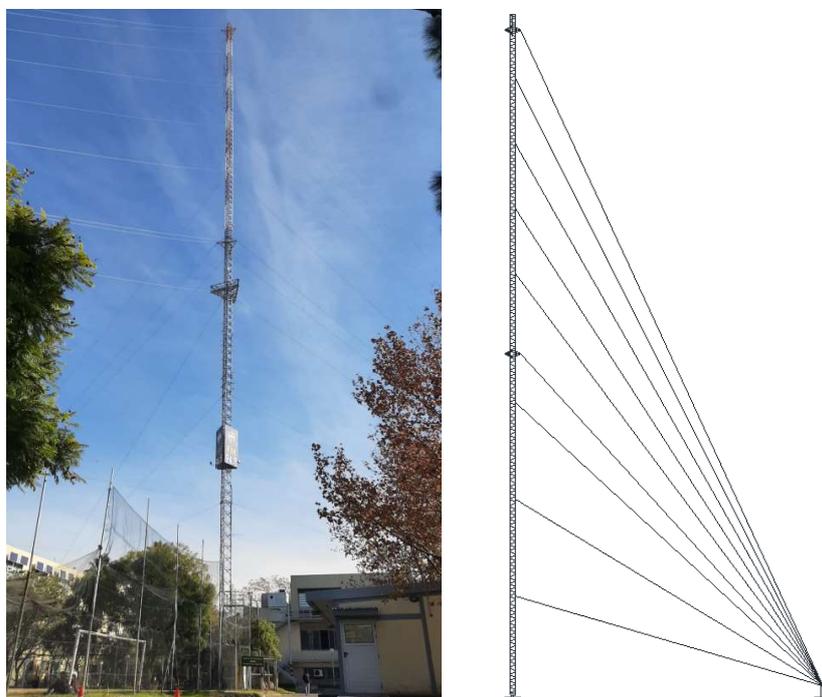


Figura 1: Mástil atirantado.

El mástil presenta una altura aproximada de 120 m, conformado por un reticulado de sección triangular de 1.05 m por lado. Los montantes son perfiles galvanizados en forma de L, de 80 mm de lado y 7.5 mm de espesor. Las diagonales también son en forma de L, de 38 mm de lado

y 3.2 mm de espesor, con una configuración de reticulación del tipo K y un paso de 1.12 m. La estructura posee nueve niveles de riendas, seis de ellos con diámetros de entre 9 y 10 mm, y una conformación de 1x7 hilos, y los tres niveles restantes con diámetro aproximado de 16.0 mm y una conformación de 1x19 hilos. En el nivel cuatro y nueve se presentan estrellas anti-rotoras.

4. TENSIONES EN LAS RIENDAS A PARTIR DE LA TÉCNICA AVM

Se seleccionaron las riendas del 1° y 2° nivel (+17.6 m y +31.4 m), de dos de los tres planos estructurales de arriostramientos del mástil. Los planos estructurales considerados se referenciaron como plano Este (E) y plano Norte (N) de acuerdo a la ubicación de las pilas de anclaje de las riendas. La pila Este se encuentra a 62.1 m del apoyo del mástil y a 82.7 m la pila Norte. Las medidas señaladas fueron obtenidas mediante un relevamiento topográfico llevado a cabo con una estación total láser. En cuanto al diámetro de las riendas, fue obtenido mediante el uso de un calibre. En la Tabla 1 se presentan las características mecánicas de las riendas consideradas, obtenidas del catálogo comercial de la empresa TESUM SRL.

Tabla 1: Referencias y características de las riendas consideradas en las mediciones.

Designación rienda	Nivel	Pila	Longitud de cuerda [m]	Diámetro [mm]	Sección [mm ²]	masa [kg/m]	Módulo de elasticidad [MPa]
R1E	1°	E	63.8	9.5	56.32	0.460	21500
R2E	2°	E	68.3	9.5	56.32	0.460	21500
R1N	1°	N	83.9	10.0	59.96	0.510	21500
R2N	2°	N	87.4	9.0	49.50	0.400	21500

Para el monitoreo de vibraciones se utilizó un acelerómetro uniaxial Kinematics modelo ES-U2, el cual se fijó a la rienda en su cercanía a la pila de anclaje (Fig. 2a, 2b y 2c).



(a) Pila de anclaje Este.



(b) Posicionamiento de acelerómetro.



(c) Proceso de monitoreo.

Figura 2: Monitoreo de riendas.

Las mediciones sobre cada rienda tuvieron una duración de aproximadamente 40 minutos, con condiciones meteorológicas entre 18 y 20 °C de temperatura, y en ausencia de viento. A

partir de estas mediciones, se realizaron los espectros de Fourier en ventanas de 50 segundos, suavizadas (Konno y Ohmachi, 1998) y apodizadas con 5 % (cosine taper). Estas ventanas fueron luego promediadas, obteniendo así los espectros resultantes, los cuales se presentan en la Figura 3a y 3b. Sobre estos espectros se identificaron las frecuencias de manera visual.

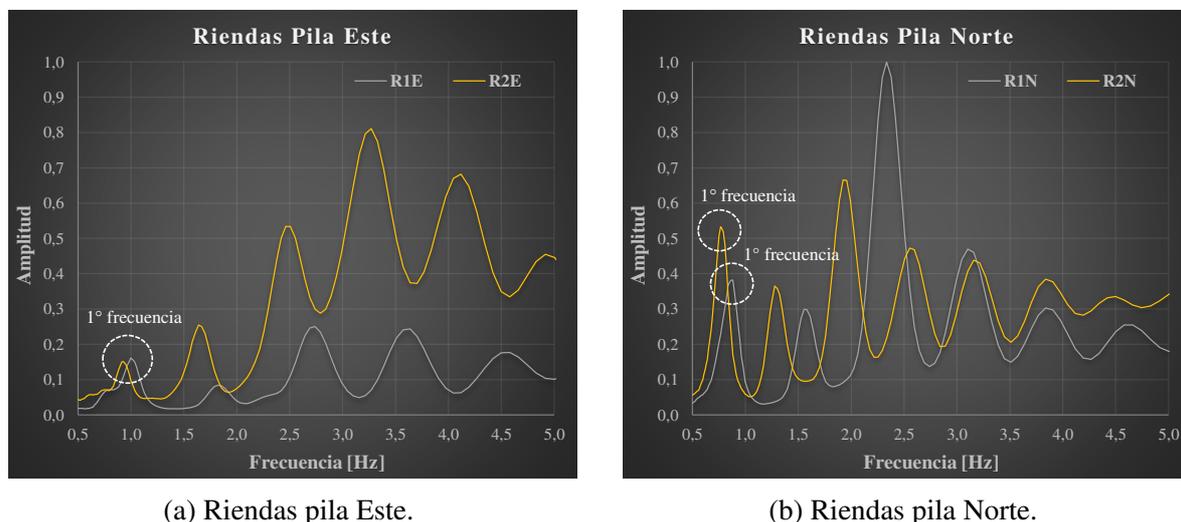


Figura 3: Espectro de frecuencias para las riendas de estudio.

En un trabajo previo llevado a cabo por los autores sobre el mástil atirantado considerado en el presente análisis (Guzmán et al., 2019), se determinaron experimentalmente y mediante la técnica AVM las frecuencias fundamentales del sistema estructural. Esta evaluación anteriormente realizada, implicó colocar un acelerómetro triaxial Kinometrics modelo Basalt 4x tomado al mástil a una determinada altura, y a partir de ello, obtener el espectro de frecuencias del conjunto estructural mástil atirantado en las dos direcciones ortogonales principales (E-W y N-S). En la Figura 4 se muestra el espectro obtenido, donde se presentan picos de frecuencias que involucran al comportamiento de las riendas, así como también, al mástil del sistema.

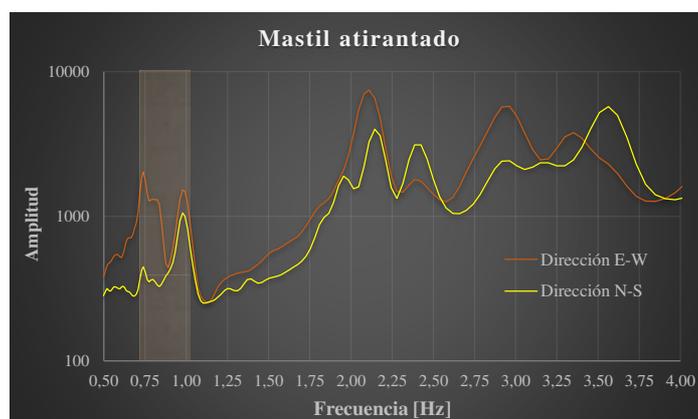


Figura 4: Espectro de frecuencias del mástil atirantado (Guzmán et al., 2019).

Se observa que en el rango de entre 0.7 a 1.0 Hz se identifican picos que se corresponderían con las frecuencias obtenidas para las riendas en la presente investigación.

Por lo tanto, habiéndose determinado las frecuencias en las riendas, se procedió a inferir su estado tensional a partir de la teoría de vibración de cables tensos (Guzmán, 2014; Koščo et al., 2024), valiéndose para ello de la Ec. (1):

$$T_{AVM} = 4mL_c^2 \left(\frac{f_n}{n} \right)^2 \quad (1)$$

donde T_{AVM} es la fuerza de tensión inferida en las riendas, f_n la n-ésima frecuencia natural, m la masa por unidad de longitud, L_c la longitud de la cuerda, y n el número de modo. En la Tabla 2 se presentan las frecuencias obtenidas y la tensión inferida para las mismas.

Tabla 2: Frecuencias experimentales obtenidas en las riendas y estado tensional inferido.

Designación	m [kg/m]	L_c [m]	n	f_n [Hz]	T_{AVM} [N]
R1E	0.460	63.8	1	1.01	7640
R2E	0.460	68.3	1	0.91	7108
R1N	0.510	83.9	1	0.88	11120
R2N	0.400	87.4	1	0.78	7436

5. TENSIONES EN LAS RIENDAS A PARTIR DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA

Se representaron numéricamente las cuatro riendas evaluadas experimentalmente (Fig. 5). Las modelaciones fueron llevadas a cabo con el software comercial de elementos finitos SAP2000 (2007), utilizando el elemento finito cable disponible en su biblioteca. Como simplificación del modelo, las riendas comenzaron y terminaron en vínculos fijos, lo cual implicó que el acoplamiento estructural de las distintas riendas, existente en la estructura real, no fue introducido. Para la determinación de las frecuencias de las riendas se llevó a cabo un análisis modal.

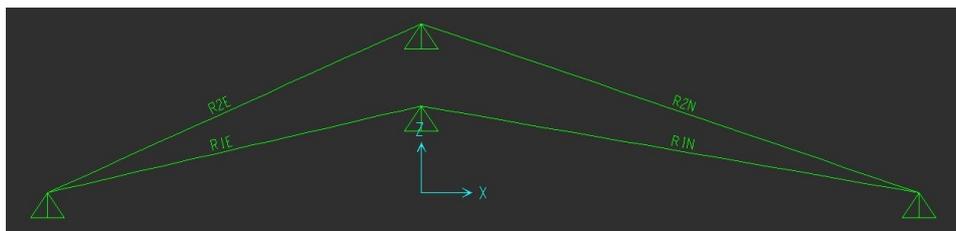


Figura 5: Modelación numérica de las riendas.

Para la calibración del modelo la variable de ajuste resultó ser la tensión de las riendas, asignando el valor necesario hasta alcanzar la frecuencia determinada experimentalmente. En la Tabla 3 se presentan las frecuencias obtenidas numéricamente y sus tensiones (T_{SN}) asociadas.

Tabla 3: Frecuencias en riendas obtenidas numéricamente y estado tensional asociado.

Designación	n	f_n [Hz]	T_{SN} [N]
R1E	1	1.01	8150
R2E	1	0.91	7750
R1N	1	0.88	11820
R2N	1	0.78	8130

6. TENSIONES EN LAS RIENDAS A PARTIR DEL MÉTODO DIRECTO

En el año 2021, una empresa de comunicaciones a cargo de las antenas que se sustentaban en el mástil atirantado antes descrito, llevó a cabo un control de mantenimiento. Para el control del estado tensional en las riendas, se utilizó un dinamómetro Quick-Check de la marca Dillon. Las mediciones fueron ejecutadas en cada una de las riendas en cercanías a las pilas de anclaje. En la Figura 6 se muestra el registro del estado tensional en una de las riendas expresado en kgf, en tanto que en la Tabla 4 se presentan las tensiones T_{MD} medidas para las riendas de interés.



Figura 6: Medición directa del estado tensional en una de las riendas.

Tabla 4: Medición directa del estado tensional en las riendas de interés.

Designación	T_{MD} [N]
R1E	8728
R2E	9218
R1N	9218
R2N	6080

7. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En la Tabla 5 se presenta una comparación entre las tensiones inferidas experimentalmente y las obtenidas a partir de la modelación numérica.

Tabla 5: Tensiones inferidas experimentalmente vs. obtenidas en la simulación numérica.

Designación	T_{AVM} [N]	T_{SN} [N]	Diferencia [%]
R1E	7640	8150	6.3
R2E	7108	7750	8.3
R1N	11120	11820	5.9
R2N	7436	8130	8.5

De la anterior comparación se puede establecer la correspondencia entre las tensiones inferidas y las obtenidas en la modelación, donde las diferencias resultaron menores al 10 % lo que permitiría señalar un adecuado desempeño de la Ec. (1). Cabe destacar que en los sistemas estructurales mástiles atirantados, las riendas en general presentan un estado tensional tal que hace que las mismas presenten una pequeña flecha, pudiendo de este modo representar su comportamiento mediante la aproximación dada por el modelo parabólico, aproximación tenida en

cuenta para el desarrollo de la ecuación indicada. En tanto que el elemento finito cable utilizado en la modelación, considera para la representación la formulación de la catenaria. Por otra parte y como fuera señalado, el acoplamiento estructural de las distintas riendas no fue considerado en la modelación. En la Tabla 6 se presenta una comparación entre las tensiones inferidas experimentalmente y las obtenidas a partir de la medición directa.

Tabla 6: Tensiones inferidas experimentalmente vs. obtenidas en medición directa.

Designación	T _{AVM} [N]	T _{MD} [N]	Diferencia [%]
R1E	7640	8728	12.5
R2E	7108	9218	22.9
R1N	11120	9218	20.6
R2N	7436	6080	22.3

En esta última comparación se observa que las diferencias presentadas entre ambas técnicas resultaron del orden al 20 %. Esto podría deberse a que habiendo transcurrido aproximadamente tres años de la medición directa (2021), el estado tensional actual de las riendas podría haber diferido. Un indicio de ello al interpretar las mediciones, podría ser que las riendas ancladas a la pila norte se relajaron, ocasionando así un sobre tensado en las riendas ancladas a la pila este.

8. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se infirió, a partir de la determinación experimental de frecuencias, el estado tensional de cuatro riendas de un mástil atirantado existente. Al respecto y de lo evaluado, se permiten obtener las siguientes conclusiones:

- . La determinación de frecuencias no implicó mayores dificultades, toda vez que se contó con el personal idóneo para el montaje del instrumental y el monitoreo de vibraciones.
- . Lo anterior permite establecer que la técnica prevista para inferir el estado tensional de las riendas a partir de la medición de frecuencias, AVM, resultaría expeditiva en su ejecución.
- . Por otra parte, de los resultados experimentales obtenidos para el estado tensional de las riendas evaluadas, se puede señalar un desempeño adecuado de la metodología propuesta, lo cual resulta alentador para continuar con futuras evaluaciones.
- . En ese sentido se prevé poder llevar a cabo un mayor número de mediciones experimentales y corroborar los resultados con los obtenidos con otras técnicas, a fin de poder establecer si la metodología AVM resulta en una propuesta viable para ser implementada como plan de mantenimiento de mástiles atirantados.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia y Tecnología (UTN) por el financiamiento al proyecto PID 8573.

REFERENCIAS

- Amiri G. Seismic sensitivity indicators for tall guyed telecommunication towers. *Computers and Structures*, 80(3-4):349–364, 2002.
- ANSI/TIA-222-H. *Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas*. Telecommunications Industry Association, 2018.
- Ballaben J.S., Guzmán A.M., y Rosales M.B. Nonlinear dynamics of guyed masts under wind load: Sensitivity to structural parameters and load models. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 169:128–138, 2017.

- Bendat J.S. y Piersol A.G. Engineering applications of correlation and spectral analysis. *New York*, 1980.
- CIRSOC-306. *Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Antenas*. INTI, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2018.
- Gentile C. y Ubertini F. Radar-based dynamic testing and system identification of a guyed mast. *In AIP conference proceedings*, 1457:318–325, 2012.
- Ghafari Osgoie M., McClure G., Zhang X., y Gagnon D. Assessing the variability of seismic response analysis of a tall guyed telecommunication tower with ambient vibration measurements. *In 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012*, 6:4306–4314, 2012.
- Guzmán A.M. *Estática, estabilidad y dinámica de mástiles reticulados con aplicación a estructuras arriostradas*. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Bs. As., 2014. Disponible en <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3649>.
- Guzmán A., Calderón F., González del Solar G., y Roldan V. Efecto de la rigidez de riendas en el periodo fundamental de mástiles arriostrados de baja altura. *XXVII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural*, 2022.
- Guzmán A., Calderón F., y Palazzo G. Periodo fundamental de mástiles arriostrados de baja altura evaluados experimentalmente. *Mecánica Computacional*, XL:191–200, 2023.
- Guzmán A., Calderón F., y Roldan V. Dynamic response of a guyed mast under seismic loadings. *International Journal of Science and Research*, 7(7):567–575, 2018.
- Guzmán A., Calderón F., y Roldan V. Determinación de características dinámicas de un mástil arriostrado a partir de vibraciones ambientales. *XII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica*, 2019.
- Guzmán A., Calderón F., Roldan V., Bazán M., y Rodríguez L. Inferencia del periodo fundamental de mástiles arriostrados de baja altura. *Mecánica Computacional*, 38(8):249–258, 2021.
- Harikrishna P., Annadurai A., Gomathinayagam S., y Lakshmanan N. Full scale measurements of the structural response of a 50 m guyed mast under wind loading. *Engineering Structures*, 25(7):859–867, 2003.
- He W.Y., Meng F.C., y Ren W.X. Cable force estimation of cables with small sag considering inclination angle effect. *Advances in Bridge Engineering*, 2:1–22, 2021.
- Hensley G. y Plaut R. Three-dimensional analysis of the seismic response of guyed masts. *Engineering Structures*, 29(9):2254–2261, 2007.
- Ismail A. Seismic assessment of guyed towers: A case study combining field measurements and pushover analysis. *HBRC journal*, 12(1):47–53, 2016.
- Konno K. y Ohmachi T. Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1):228–241, 1998.
- Koščo T., Margetin M., Chmelko V., y Šulko M. Bridge cable tension estimation using the vibration method. *Structures*, 63:106332, 2024.
- Michel C., Guéguen P., y Bard P.Y. Dynamic parameters of structures extracted from ambient vibration measurements: An aid for the seismic vulnerability assessment of existing buildings in moderate seismic hazard regions. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 28(8):593–604, 2008.
- SAP2000. *Analysis Reference Manual v11*. Computers and Structures, Inc., CSI., Berkeley, California, USA, 2007.
- Saudi G. Structural assessment of a guyed mast through measurement of natural frequencies. *Engineering Structures*, 59:104–112, 2014.