



8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS



21 · 22 · 23
MAYO · 2025

Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia



Federación Iberoamericana
de Mantenimiento



22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento
27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN CREANDO MODELOS DIGITALES PARA TOMA DE DECISIONES ANTE AFECTACIONES O ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE TRANSMISIÓN

Yenny Marcela Mesa Palencia - ymesa@enlaza.red
Fabian Ricardo Rojas Leal - frojas@enlaza.red
Santiago Andres Forigua Rodriguez - sforigua@enlaza.red
ENLAZA - GEB S.A. ESP
Bogotá, D.C. – Colombia

Resumen

Este trabajo presenta una estrategia para evaluar el estado mecánico de torres de líneas de transmisión (LT) mediante datos LiDAR y modelos digitales. El objetivo es analizar las estructuras, anticipar eventos y usar simulación digital para la revisión de las condiciones mecánicas y estimar el estado y condición del activo. Basándose en los resultados del proceso de inspección digital, se utilizan nubes de puntos para detectar deformaciones y analizar variaciones en la verticalidad, horizontalidad y desplazamientos. Se realiza una comparación con los diseños originales y se establecen límites mecánicos basados en modelos y cargas de diseño, validando los ángulos de desviación vertical y horizontal, y estimando las condiciones limitantes a partir de modelos base que representan la desviación en porcentajes de uso en las estructuras metálicas. La metodología se valida con un caso práctico con una estructura que sufrió una afectación asociada a sobretensiones las cuales causaron deformación, se muestra el modelamiento para la solución con templetes y prolongas, evidenciando las grandes ventajas de la metodología y la optimización del Costo, Riesgo y Desempeño.

Introducción

La construcción de un modelo de valoración de estado de la estructura de una torre es un proceso de alta complejidad, que en general, debe incluir un análisis de ingeniería de detalle que permita correlacionar las variables medidas en las inspecciones. Para el caso de la deformación en los elementos de la estructura, los análisis pueden incluir comparativos con las variables y umbrales de diseño, verificación de árboles de carga, tipos de

materiales implementados, familias, planos taller, simulaciones computacionales, entre otras [1]. El fin de los análisis es establecer una relación entre el grado de deformación de los elementos y la carga mecánica que puede soportar un elemento de la torre y en ese sentido, la repercusión de la pérdida de desempeño de este elemento en los objetivos de diseño electromecánico de la LT, incluyendo las posibles sinergias entre sus elementos.

La inspección de estructuras para LT se realizaba hace algunos años de forma pedestre con registros y consideraciones determinados por cada empresa, complementados con los criterios o juicios de experto de los inspectores que realizaban el proceso. Inspecciones de este tipo tenían asociadas contingencias, complejidades y demoras ya que el acceso a las estructuras depende de las condiciones topográficas y de calidad de accesos. Dichas complejidades, sumadas a las típicas de procesos podían dificultar la precisión y en general no arrojaban un registro completo de las variables relevantes de la infraestructura, impidiendo un análisis holístico y en ocasiones impedían la anticipación de fallas o aumentaba la probabilidad de fallas ocultas.

Con la evolución de los mecanismos para levantamiento topográfico y las herramientas de digitalización se abrió una puerta para obtener datos precisos a través de tecnologías como el LiDAR, lo cual fue una base para la implementación de inspecciones digitales en líneas de transmisión que superaban las barreras descritas. La tecnología LiDAR permite visualizar las líneas de transmisión de forma que, con la manipulación de los datos, se



8º CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS



21 · 22 · 23
MAYO · 2025
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia



22º Congreso Iberoamericano de Mantenimiento
27º Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

pueden obtener resultados como deformaciones, asentamientos, entre otros.

En este artículo se presentará el análisis y los resultados de la implementación de los modelos y los gemelos digitales estructurales para la inspección, evaluación y atención de contingencias. Se precisará sobre el método de inspección digital estructural y sobre un ejemplo práctico en una de las torres de transmisión propiedad de ENLAZA.

Elementos iniciales de estimación de condición de la estructura

Las empresas propietarias u operadoras de LT usan ampliamente la inspección visual para verificar síntomas de corrosión o deformación, luego de detectar una condición fuera de los parámetros normales realizan una validación basada en mediciones de ángulos de deflexión o deformación y grados de corrosión. Algunas empresas (alrededor del 35% del universo contemplado en [2]) implementan pruebas adicionales, tales como ensayos de laboratorio destructivos o de inspección, medición de películas de galvanizado y pintura, metrología de corrosión, análisis de estructuras microscópicas, entre otras. [2] [1].

Internacionalmente se reporta que los principales hallazgos asociados a la problemática de interés se relacionan con reducción de resistencia mecánica en el elemento debido a daños mecánicos de impacto, corrosión, deflexión o deformación y robo de componentes [1]. Los enfoques de las empresas en general se orientan a un mantenimiento con reemplazo o reparación directa de los elementos en casos de corrosión y al cálculo detallado de la resistencia del material y del elemento¹, teniendo en cuenta las condiciones de deflexión, pérdida de material o alteraciones en el mismo. [1] [2]. Solo alrededor del 30% de las compañías realizan

¹ Este tipo de análisis de ingeniería inversa contemplan simulaciones computacionales y cálculos similares a los que se desarrollan en las etapas de diseño de la LT

² Se reporta que adicionando elementos secundarios adosados o adicionales se puede reducir la deflexión. No obstante, esto implica un

pruebas adicionales de carga para los elementos afectados. [1].

Típicamente los daños por corrosión son evidentes y se asocian a escalas predefinidas de agudeza de la condición, así, el reemplazo o el mantenimiento del elemento (limpieza, lijado, pintura) es una decisión tomada con relativa facilidad. Con relación a las deformaciones el modelamiento y comparación con los diseños originales es una alternativa, así como el refuerzo del elemento² [2].

Se debe destacar que la mayoría de los hallazgos de corrosión son causados por las condiciones ambientales típicas de la ubicación de la LT y en menor medida por factores de contaminantes industriales [1]. Hallazgos relacionados con deflexiones o deformaciones son menos comunes y se asocian a esfuerzos agudos por vientos, fallas de conductores o carga por hielo³, estos son analizados de forma particular por ser las principales causas de colapso de las torres. [2]

La deflexión o deformación de los elementos es medida en general con teodolito o elementos de topografía similares, en general se reporta un análisis específico por caso, ya que leves deformaciones pueden ser críticas para determinadas estructuras y elementos con altas cargas mecánicas o usabilidades superiores al 90%, en condiciones menos críticas pueden tener un impacto menor. Las empresas no reportan la definición de escalas de valoración para deflexiones o deformaciones debido a la complejidad de los esfuerzos que inciden sobre los elementos, que no permite una generalización directa y segura. [2]

No obstante, lo anterior, aspectos homogéneos para la reparación o el mantenimiento de los elementos estructurales pueden ser destacados, por ejemplo, el

análisis de ingeniería detallado y el respectivo seguimiento, de lo contrario no se estaría actuando sobre la causa de la problemática [2].

³ Se determina que muy pocos son originados en las etapas de construcción, para estos se recomienda un seguimiento y análisis detallado desde la entrada en operación del activo.



8º CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS



21 · 22 · 23
MAYO · 2025
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia



22º Congreso Iberoamericano de Mantenimiento
27º Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

límite de reducción máxima para la resistencia a la tracción, compresión o flexión es marcadamente menor para los elementos de las patas y los perfiles horizontales del brazo de las torres, comparados con los de los otros miembros de la estructura, es decir, los esfuerzos y deformaciones son mucho más sensibles cuando se presentan en los elementos de soporte. Por consiguiente, no es recomendado permitir una curvatura o deflexión significativa en los miembros de las patas o en los miembros horizontales de los brazos [2]. Para los otros elementos puede permitirse una tolerancia mayor y no implementar acciones correctivas mientras las curvas sean menores⁴. En todos los casos se recomienda la sustitución de los elementos con curvaturas graves, deflexiones con bordes afilados y distorsiones que impliquen la deformación de la sección transversal del ángulo de acero [2].

Es resaltado también en publicaciones internacionales y consultas a propietarios y operadores de LT, que la pérdida de resistencia en elementos diseñados y sometidos a esfuerzos de compresión, es decir, todos los miembros de las patas, los miembros principales del brazo (transversales y horizontales) y otros miembros principales de arriostramiento diagonal cargados en compresión, implica una afectación mayor y puede generar riesgos importantes [1]. Los miembros de la torre que se diseñan para carga de tracción pueden soportar una pérdida relativamente mayor de área de sección transversal siempre que la pérdida no se produzca junto a los orificios de los pernos [2].

Algo relevante es la recomendación de la gran mayoría de las empresas de no llevar a cabo el reemplazo de elementos con cargas elevadas sin los debidos análisis detallados de ingeniería, esto implica un riesgo importante de daño mayor y en determinados elementos puede conducir al colapso [2]. Los arriostramientos secundarios ligeros, que son los más susceptibles a la corrosión o deformación, normalmente tienen cargas menores y

⁴ De la bibliografía disponible consultada no se identifican escalas de valoración de estado relacionando variables de deflexión o curvatura. En general la bibliografía y publicaciones se

se pueden reemplazar sin dificultad, utilizando un procedimiento técnico aprobado y validado para evitar afectaciones adicionales en los miembros adyacentes [2].

De forma específica para la deformación de elementos, que es el objetivo de este trabajo, en etapas iniciales de estimación de estado y en empresas que realizan únicamente inspecciones visuales pedestres, se verifica la cantidad de elementos de la torre deformados, agrupándolos en general en dos conjuntos: perfiles y montantes. La estimación rápida puede entonces realizarse con una función de cantidad de elementos afectados en cada grupo, calificados con escalas de valoración lineal desde un estado óptimo, en general para pocos o ningún elemento, hasta estado crítico cuando se encuentra un gran número de elementos afectados.

Un siguiente escalón en la valoración implica estimar de forma directa o indirecta la deformación de cada elemento detectado en la inspección visual y generar grupos de criticidad de estado (afectación: baja, media o alta), para luego asociar los totales a una función de afectación construida mediante consulta a expertos o acudiendo a funciones lineales o ponderaciones homogéneas. Este método es simple y permite dar señales de afectación de condición a partir de los datos visuales, no obstante, su característica aproximada e indirecta, sumado a que es muy susceptible a la percepción del observador, puede arrojar resultados que indiquen falsos positivos o falsos negativos, además, en general todos los hallazgos requieren una valoración precisa con pruebas adicionales y visitas que implican un alto costo. Es necesario entonces desarrollar nuevos métodos de inspección y a su vez, nuevas técnicas para evaluar el estado mecánico de la estructura.

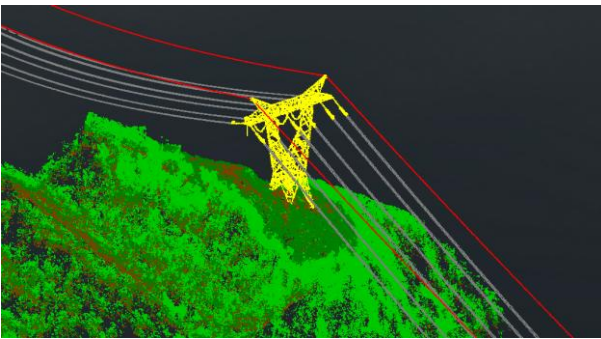
Recolección de Información

La metodología propuesta para evaluación de estado de las condiciones mecánicas de estructuras a partir

concentran en análisis de caso, confirmando la singularidad que rodea cada uno de los escenarios con elementos deformados.

de modelos digitales comienza con la recolección de datos topográficos con tecnología LiDAR. Este proceso consta de un sobrevuelo con un equipo dotado con tecnología laser que procesa, con millones de disparos, cada uno de los objetos que se encuentran en el área de estudio, incluido el suelo.

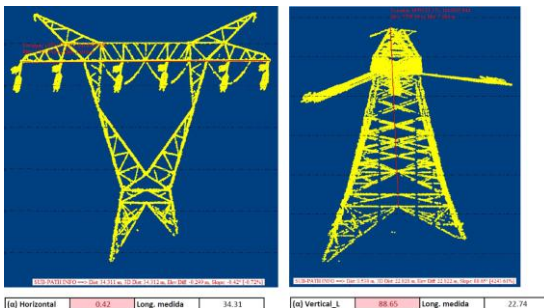
Con esta información de nubes de puntos se realiza un procesamiento y clasificación de cada objeto identificado en el trazado, permitiendo la generación de modelos digitales de la LT.



Para los modelos de validación de condición estructural se utilizan las nubes de puntos asociadas con las estructuras de las torres y para los modelos digitales que se generan para la evaluación de líneas se utilizan los puntos asociados con estructuras, cables, terreno y obstáculos.

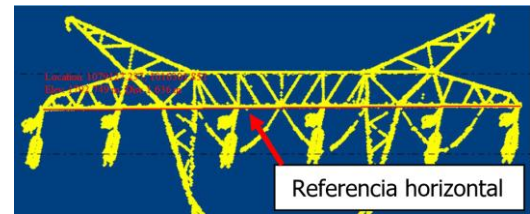
Inspección Digital Estructuras

Lo que busca la metodología es verificar los desplazamientos verticales en las caras transversales y longitudinales, y los desplazamientos horizontales en la estructura, a partir de las nubes de puntos asociadas con las estructuras generados por la inspección digital.

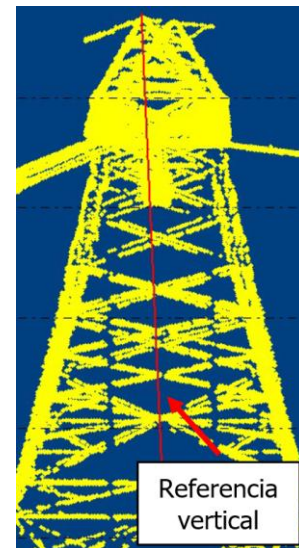


La validación busca una comparación de los desplazamientos de la estructura, con relación a los límites establecidos en los criterios por familias de estructuras, verificando que se encuentren dentro de los límites y criterios de confiabilidad del diseño.

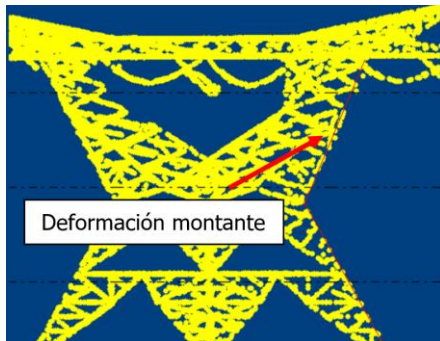
Para la validación de horizontalidad se analizan las desviaciones en la cabeza de la torre, en este caso se toma la medida del ángulo de desviación entre los extremos de las crucetas. Es importante validar la horizontalidad debido a que las cargas en los brazos no necesariamente afectan a toda la estructura.



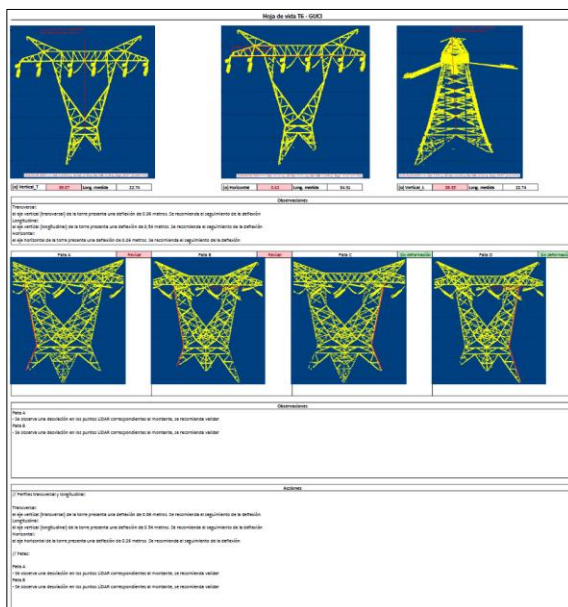
Para la validación de verticalidad se mide el ángulo de inclinación de las estructuras desde un punto medio que puede corresponder al cierre del cuerpo en la extensión de cuerpo para las patas. En la verticalidad se busca que el ángulo que se forma desde la base de la torre sea menor a la limitante geométrica de las cargas, calculada con las cargas transversales y longitudinales. Con esta referencia vertical se pueden observar deformaciones por torsión, por flexión o deflexiones por compresión.



Adicional, en la inspección digital se pueden evaluar secciones transversales con las cuales se pueden determinar las condiciones de los montantes. Si se evidencian deformaciones significativas que afecten el gramil de los perfiles estas son registradas para la evaluación detallada en sitio por parte del equipo de ingeniería de la empresa.

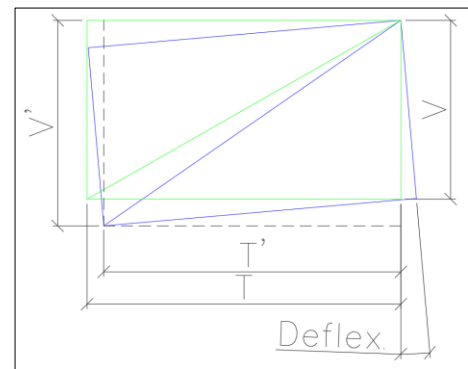


Todos los valores de ángulos de deformación identificados se registran en un formato de hoja de vida desarrollado para conservar los históricos, analizar tendencias y desarrollar la valoración del estado estructural. Seguidamente, los resultados se asocian a escalas de criticidad de acuerdo con la combinación de los hallazgos y sus niveles, y se genera el proceso de toma de decisión de acciones de mantenimiento por condición.

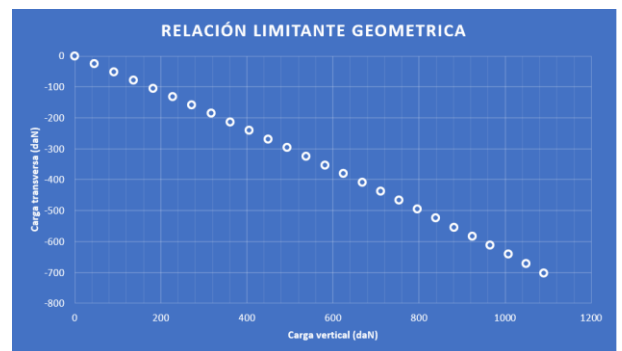


Determinación criterios y escalas de valoración

Los límites mecánicos se pueden determinar a partir de los modelos estructurales evaluados en programas de diseño, para una combinación de cargas específicas. Para determinar los criterios que se denominaran limitantes geométricas de deflexión, se requiere evaluar las cargas resultantes y el comportamiento de los modelos ante los cambios en las cargas de diseño. Para ilustrar esta condición se consideran los valores de carga longitudinal, transversal y vertical.

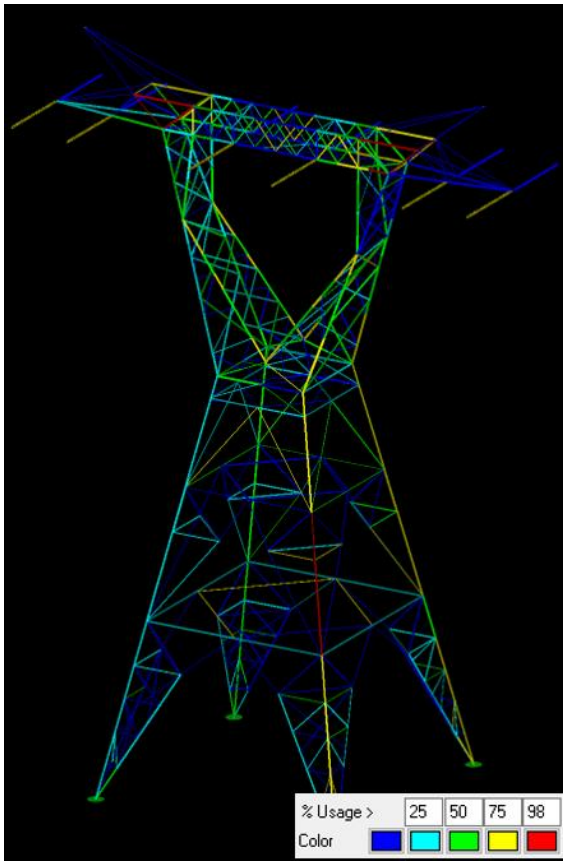


A medida que aumenta el ángulo de desviación vertical en la estructura se modifican las cargas verticales por las componentes de las cargas transversales y longitudinales. Mientras que las cargas verticales aumentan, las demás disminuyen, con 5 grados de desviación, la carga vertical aumenta un 14% más que la carga de diseño, razón por la cual algunos de los elementos estructurales se ven afectados.



Con las modificaciones en las cargas verticales se observan comportamientos mecánicos en los que se

evidencian porcentajes de uso mayores a 98% de la capacidad mecánica de la estructura. Se asume que con un ángulo de desviación mayor a 2 grados se comprometen mecánicamente los brazos de las estructuras de transmisión.



Caso Practico

A continuación, se presentarán los parámetros de entrada, así como las condiciones del análisis y los resultados para un caso de uso real, usando una estructura de una de las LT de ENLAZA, la cual se identificó y proceso a partir de un gemelo digital estructural.

Parámetros De Entrada

Para el análisis de cargas se consideraron las características que se presentan a continuación:

- Terreno LiDAR

- Geometría de las estructuras y ubicación en planta extraída de la información LiDAR
- Condición de los cables correspondiente a la catenaria interpretada a partir de la información LiDAR
- Cable de fase
- Parámetros meteorológicos de acuerdo con el informe final de la línea
- Modelo TOWER sin deformaciones

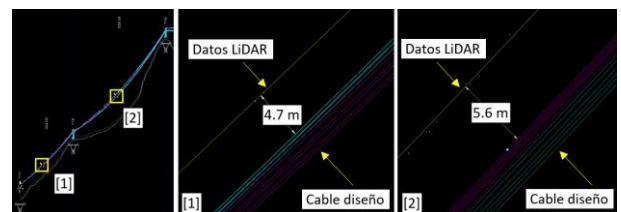
Los valores de la tensión en condición EDS se consideran inicialmente en 20% de la tensión de rotura (TUR).

Datos LiDAR

Los datos LiDAR representan la condición del cable en el momento del levantamiento. Para el análisis de la condición de la torre se asumieron parámetros como: temperatura promedio del ambiente, temperatura del cable, velocidad de viento, entre otros. A continuación, se presentan los valores asumidos para el análisis:

- Temperatura promedio (ambiente)
- Temperatura del cable
- Velocidad del viento
- Cable con Creep desarrollado

Después de modelar la catenaria del cable con estos parámetros y de considerar una tensión del cable en condición EDS correspondiente al 20% de la TUR, se observó que la tensión del cable correspondiente a los datos LiDAR, vano adelante y vano atrás, evidencia una sobretensión considerable con respecto a la posición que arroja el cable tensionado (20% TUR – EDS) a partir del método no lineal de PLS-CADD.



En la figura anterior, cuadro [1], se observa la condición del cable entre las estructuras del vano

desde la anterior a la deformada. Se observa que la flecha del conductor en este vano está 4.7 metros más arriba que la flecha del cable al 20% de la TUR. Lo mismo sucede con el vano entre la torre deformada y la posterior, en el cual la flecha del conductor está 5.6 metros más arriba.

Esta condición del cable representa una tensión mayor a la considerada en el diseño original de la línea para el conductor. En la siguiente figura se observa que la tensión EDS considerada en el diseño es de 2440 kg por subconductor (20% TUR).

| | RAIL ACSR | MINORCA ACSR-ACSR/AW |
|--|--------------|-------------------------|
| Diaría (Temp. Promedio sin viento) | 20.0% | 14.0% |
| Inicial (Temp. mínima sin viento) | 26.5% | 30.0% |
| Carga máxima (Temp. mínima con viento) | 50.0% | 50.0% |

| | RAIL ACSR | MINORCA ACSR | GREELEY AACR | MINORCA ACSR |
|------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Viento máximo | 3520 | 1320 | 3950 | 1600 |
| Viento medio | 2950 | 1050 | 3320 | 1190 |
| Sin viento (EDS) | 2440 | 715 | 2622 | 869 |

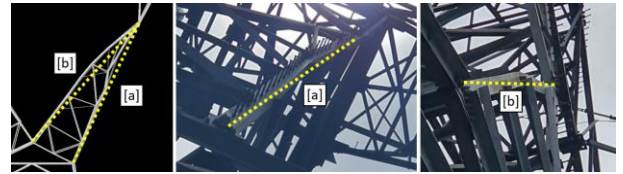
De acuerdo con la condición del cable correspondiente al levantamiento topográfico se encontró que en el vano se presentaba una tensión correspondiente al 40% de la TUR.

```

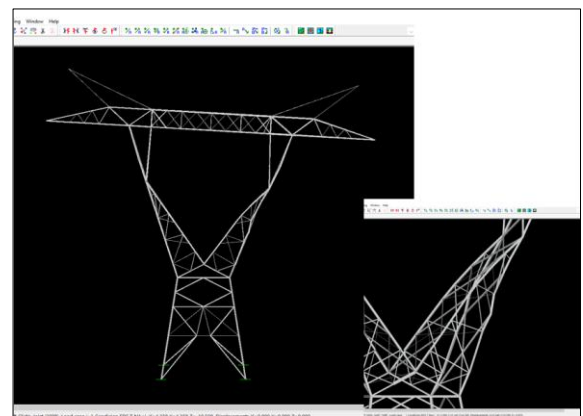
Finite Element Sag Tension Report
-----
--Span From-- | --Span To-- | --Weather Case-- | --Cable Load-- | --F.E. Initial Cond.---- | --F.E. Final Cond.----
Str. Set Ph. | Str. Set Ph. | # Description | Bar. Vert. Res. | Max. Hor. | Max. Span | Max. Hor. | Max. Span
| | | | | Load | (Tens. Tens. Tem C Sag | (Tens. Tens. Tem C Sag
| | | | | (daN)(kN) (daN) (kN) (daN) (kN) (daN) (kN) (daN) (kN)
-----
Results below are for wind blowing from Right
T12 1 1 210 1 1 EDS 0.00 1.97 1.97 2859 2293 25 1453 27.49 1522 2124 24 1977 19.03
T13 1 2 210 1 2 1 EDS 0.00 1.97 1.97 2863 2284 25 1456 27.24 1524 2142 24 1977 19.01
T14 1 3 210 1 3 1 EDS 0.00 1.97 1.97 2869 2259 25 1459 27.02 1525 2163 24 1979 19.00
Finite Element Sag Tension Report
-----
--Span From-- | --Span To-- | --Weather Case-- | --Cable Load-- | --F.E. Initial Cond.---- | --F.E. Final Cond.----
Str. Set Ph. | Str. Set Ph. | # Description | Bar. Vert. Res. | Max. Hor. | Max. Span | Max. Hor. | Max. Span
| | | | | Load | (Tens. Tens. Tem C Sag | (Tens. Tens. Tem C Sag
| | | | | (daN)(kN) (daN) (kN) (daN) (kN) (daN) (kN) (daN) (kN)
-----
Results below are for wind blowing from Right
T12 1 1 210 1 1 EDS 0.00 1.97 1.97 4139 3359 53 3441 3.92 4555 3359 49 2645 3.27
T13 1 2 210 1 2 1 EDS 0.00 1.97 1.97 4144 3400 53 3442 3.78 4574 3392 49 2646 3.23
T14 1 3 210 1 3 1 EDS 0.00 1.97 1.97 4152 3401 53 3443 3.75 4579 3391 49 2646 3.20
    
```

Cargas En La Estructura

El impacto de la sobretensión sobre la torre se analizó con la interacción de los programas TOWER y PLS-CADD. Como resultado se encontró que al aplicar en la torre la carga correspondiente a la condición del levantamiento LiDAR se genera una deformación similar en la estructura a la que presenta la torre actualmente. Esto indica que debido a esta sobretensión la estructura está soportando cargas mayores a las requeridas por diseño.



La deformación de la estructura se presenta en dirección al ángulo de deflexión de la línea, esto en parte por la solicitud mecánica que implica la sobretensión.



De acuerdo con el análisis de tensiones realizado en la estructura, se encontró que el aumento en el valor de la tensión corresponde a un 198% de la tensión de diseño (20% de la TUR – EDS). Este aumento es representativo por cuanto en el diseño estructural, el aporte de las cargas transversales y longitudinales impera en el dimensionamiento de los elementos principales (montantes) en la estructura.

| Condición | Tensión diseño* (daN) | Tensión actual* (daN) | Aumento de tensión (%) |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| EDS | 2303 | 4579 | 199% |
| Viento max de rafaga | 2834 | 5588 | 197% |
| Viento max promedio | 2520 | 5319 | 211% |

* dato interpretado del informe final de diseño y calculado con el programa PLS-CADD

Estos valores de aumento de tensión en la condición EDS regulan las demás condiciones límites para el cálculo de tensiones en el cable. Si el límite que se propone desde diseño se modifica, especialmente en la condición EDS, se aumentan los valores de las demás condiciones limitantes de tensión (carga y temperatura mínima). Esto se ve reflejado en las tensiones de viento máximo y promedio, las cuales también aumentan.

Hipótesis De Causa Raíz

La línea en el tramo coincidente con la torre en estudio ha presentado condiciones particulares asociadas con condiciones mecánicas adversas que generan sobrecargas en el tiro.

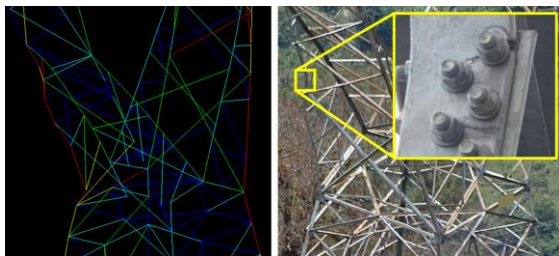
El análisis indica que en el montaje del tramo se flecharon las fases con mayor tensión con respecto a la tensión de diseño (20% EDS), esta aplicación de carga constante sumada a condiciones de viento que se pudieron presentar en el pasado, seguramente generan puntos de falla en la estructura.

La deformación en la cabeza de la estructura se debe a cargas de compresión. Está estructura, específicamente en el diseño de la cabeza, tiene tramos sin arriostramiento en ambas alas del perfil en "L", por lo cual, ante estas solicitudes de carga permitieron el desplazamiento de los nodos, al quedar con longitudes libres significativas (mayores a 2.5 metros), las cuales son las que presentan mayor deformación.



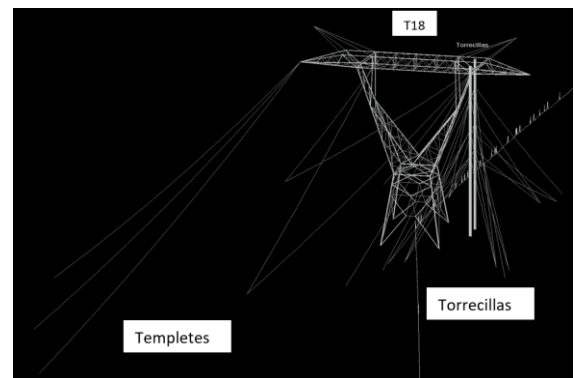
Implementación Soluciones

Después de validar la hipótesis de causa raíz se detectó en campo una deformación progresiva de la estructura, asociada a una deformación permanente en el montante de la pata D.

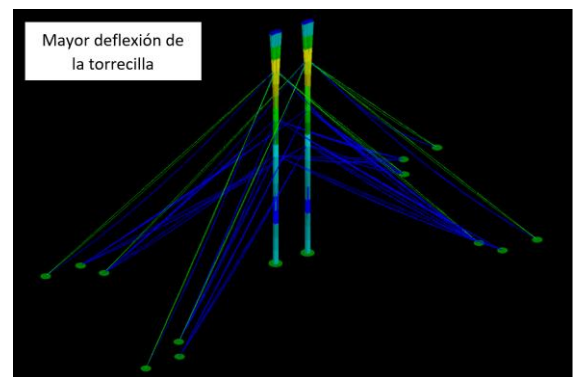


Esta condición se consideró originada por la deformación significativa que tiene la sección de montante, además, de una fisura que se presenta en una de las conexiones pernadas del montante deformado. Luego de evidenciar la condición, se preparó una alternativa en la que se consideraron las posibles soluciones a corto plazo para mitigar la carga que genera la deformación en la estructura.

En la estructura las cargas que se identifican como causa de la deformación corresponden a las tensiones en el vano y a las cargas asociadas con el ángulo de deflexión. Con el fin de contrarrestar las cargas de los conductores de fase y de las componentes transversal, longitudinal y vertical, se propuso una configuración de templetos y torrecillas para compensar las cargas, en especial en el costado que presenta la deformación.



Con este arreglo de templetos y de torrecillas se logra reducir el uso mecánico de los elementos estructurales.



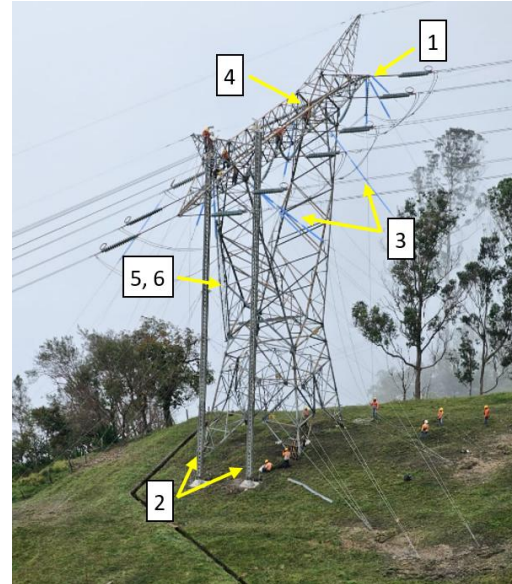


Adicional a estas medidas se implementó una reducción de tensión en el vano por medio de unas prolongas de 50 cm en las fases, en uno solo de los lados de la catenaria. Con estas prolongas se espera que la tensión en cada fase se reduzca en un 40%.

Actividades De Campo

La implementación de la solución tuvo lugar desde el reporte de la deformación de la torre, evidenciando la potencialidad y capacidad de alerta temprana de la metodología de análisis presentada, además, de su precisión, que supera ampliamente cualquier análisis con un enfoque clásico. La primera etapa de la atención de la emergencia, después de concertar el diseño de la solución preventiva, consistió en la marcación y elaboración de las excavaciones de los anclajes para cada uno de los templetes implementados, de acuerdo con los planos de disposición de templetes elaborados para la torre y para la torrecilla. A continuación, se resume el procedimiento planeado para la ejecución:

- 1- Instalación de los vientos en el brazo izquierdo de la torre
- 2- Instalación de las torrecillas con sus vientos, incluye la carga con diferenciales de las torrecillas para liberar carga en el montante de la pata D
- 3- Instalación del total de vientos en la torre
- 4- Instalación de prolongas en las fases
- 5- Instalación de las plumas para “enyesar” los montantes del delta en las patas C y D
- 6- Cambio de montante de delta de la pata D



En las actividades desarrolladas para cumplir con el hito de la construcción de la atención primaria se encontraron hechos relevantes que se detallan a continuación:

Sobretensión De Los Conductores De Fase

En los conductores de fase se encontró la sobretensión considerada en la etapa de análisis de las condiciones de carga de la estructura en las fases 4, 5 y 6 de la imagen, debido a que las fases 1, 2 y 3 ya contaban con prolongas de 50 cm instaladas previamente.



En el procedimiento de instalación de las prolongas se obtuvo una medida con dinamómetros instalados en el montaje. En la fase 6 se obtuvo una tensión de 5400 daN por hilo en la fase, para un total de más de 10 toneladas por fase, lo cual coincide con la estimación de las cargas por fase descritas en el numeral 5. Después de instaladas las prolongas se obtuvo una reducción de más del 40% de la tensión,

logrando una reducción de la tensión para las fases 4, 5 y 6 cercana a los 5200 daN.



Conclusiones

La metodología presentada permite, a partir de los datos de levantamiento topográfico LiDAR, evaluar de manera óptima las condiciones de deformación en las estructuras de líneas de transmisión. Esto significa que proporciona una base sólida para analizar el estado de las torres sin necesidad de inspecciones pedestres extensiva, lo que facilita el análisis holístico de las variables, la detección temprana de las problemáticas, ahorros significativos y un mejoramiento del balance Costo-Riesgo-Desempeño.

Es posible establecer limitantes geométricas en función de los ángulos de desviación verticales, utilizando los datos LiDAR, y considerando un conjunto específico de cargas longitudinales, transversales y verticales. Este análisis permite determinar umbrales críticos de deformación que comprometen la integridad estructural de las torres.

La información de la inspección digital de LT, en conjunto con simulaciones, análisis y estimación de variables, permite crear gemelos digitales para establecer de manera precisa las mejores soluciones de ingeniería para la atención de problemáticas en las estructuras, optimizando la planeación de los trabajos y mejorando las prácticas en campo. Estas

mejoras permiten un mayor control de parámetros y variables de ejecución, lo que reduce significativamente los riesgos, optimiza los tiempos de ejecución-desconexión y mejora los KPIs.

Referencias

- [1] CIGRE, «Over Head Lines - Green Book,» Springer, Malters-Suiza, 2017.
- [2] CIGRE, «ASSESSMENT OF EXISTING OVERHEAD LINE SUPPORTS,» CIGRE, PARIS, 2003.
- [3] AIM Working Group, «DNO Common Network Asset Indices Methology,» UK Power Networks, London, 2017.
- [4] R. Hashim, F. Usman y I. Baharuddin, «Determining Health Index of Transmission Line Asset using Condition-Based Method,» *Resources*, p. 80, 2019.

Yenny marcela Mesa Palencia
3204881827
Cra. 9 # 73-44
Colombia
ymesa@enlaza.red

Santiago Andres Forigua Rodriguez
3015043833
Cra. 9 # 73-44
Colombia
sforigua@enlaza.red

Fabian Ricardo Rojas Leal
3102599920
Cra. 9 # 73-44
Colombia
frojas@enlaza.red