



Assessment methods for determination of the technical causes in accidents specially complex

Métodos de evaluación para determinación de las causas técnicas en siniestros de especial complejidad

CARLOS LOZANO MARTÍNEZ

Ingeniero Técnico de Obras Públicas e Ingeniero Civil
Email: carlos.lozano.martinez@outlook.es

JAVIER YUSTE NAVARRO

Ingeniero de Caminos, Canales, y Puertos
Email: jyustenavarro@gmail.com

- ◊ The expert reports in complex accidents must to have scientific rigor.
- ◊ It is fundamental to recover the pieces fractured and their traceability during all the process.
- ◊ Combination of experimental and analytical methods demonstrates effectively the failure causes.
- ◊ The redaction of the expert report must to be with a simple language despite of technical complexity.

The main scope of this article is to expose an effective methodology for the investigation in complex accidents that they have happened by structural complex failures, in temporary work equipment that has been used during the building on different construction sites. This methodology is based on real cases, and due to its application and development it has allowed the determination of the technical causes that has induced the mechanism for structural collapsed with the scientific severity that it is necessary in a performance of these characteristics. Accurately by the complexity that it motivates the determination of the technical causes in singular structural failures, as well as the judicial process derived from a serious accident. It is very important that it takes into account the methodology and aspects that it has to comply for what the expert report adapts to the scope and expected expectations, basically so that expert report has the scientific rigor that it allows to demonstrate by unquestioned form the technical causes that has induced the failure. Some main aspects it must to take into account during all the process and for the making of expert report, like; visiting the accident area getting the broken pieces and rest of pieces belonging temporary work equipment or installation; permanent identification and traceability during the manipulation and tests carried out on the recovered pieces, independently of the nature, destructive or not; application of the analytical and experimental assessment methods for understanding the safety conditions of the damaged equipment, previously and in the moment of the accident, finally, an expert report writing in a simple language that allows to the different agents (judge, prosecutor, lawyer, accused) involved on the judicial process, to understand clearly how the mechanism of failure has occurred despite that they have not a technical knowledge about the topic.

Accident; Investigation; Assessment; Calculus; Test; Dictum

- ◊ Los estudios técnicos periciales en siniestros complejos deben tener rigurosidad científica.
- ◊ Fundamental la recuperación de las piezas fracturadas y su trazabilidad durante todo el proceso.
- ◊ La combinación de métodos experimentales y analíticos demuestran eficazmente las causas del fallo.
- ◊ Informe técnico pericial redactado en lenguaje llano y sencillo a pesar de la complejidad técnica.

En el presente artículo, se describe la metodología empleada, para la determinación con rigurosidad científica e inequívoca, de las causas técnicas que han motivado una serie de siniestros, derivados de fallos estructurales, en equipamientos y estructuras de naturaleza metálica. Para ello, y tomando de referencia dos ejemplos reales de investigaciones técnicas periciales, se especifica la metodología de investigación en siniestros de estas características, desde el instante del accidente, así como la importancia de combinar métodos analíticos y experimentales, para la convergencia en las causas técnicas que han motivado el fallo. Precisamente, por la complejidad que incorpora la determinación de las causas en fallos estructurales singulares, así como el proceso judicial derivado de un siniestro grave, es importantísimo tener en cuenta la metodología y aspectos que se deben cumplir, para que el estudio técnico pericial y dictamen final, se ajusten al objeto y expectativas previstas, fundamentalmente para que éste, disponga del rigor científico que permite demostrar de forma incontestable, cuáles fueron las causas técnicas que indujeron los mecanismos de fallo. Asimismo, el artículo desarrolla otros aspectos claves para que una investigación pericial, se lleve a cabo con la eficacia y éxito que requiere, tales como; profundidad en la investigación; recuperación y trazabilidad de las piezas fracturadas; estudio del estado del arte, con las metodologías, experiencias, y referencias a nivel internacional, europeo, y/o nacional, amplitud en el conocimiento exhaustivo y detallado sobre los requisitos reglamentarios y normativos de carácter técnico, que son de aplicación sobre el sistema/equipamiento/instalación siniestrada y por último la utilización en el informe y dictamen pericial de un lenguaje llano y sencillo, a pesar de tratarse de un siniestro derivado de causas de índole técnica.

Accidente; Investigación; Evaluación; Cálculo; Ensayo; Dictamen

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo expone y desarrolla la importancia de aplicar una metodología eficaz y adecuada, para determinar científica e inequívocamente, las causas técnicas que han originado siniestros complejos, derivados de colapsos o fallos estructurales en determinados sistemas de protección, instalaciones, o equipos temporales de trabajo.

La actuación de peritos, con los conocimientos adecuados para determinar las causas técnicas que han motivado un siniestro, está regulado reglamentariamente a través de la Ley de Enjuiciamiento Civil, fundamentalmente en lo establecido de los artículos 335 a 352, [1]. Por lo que en el presente, se relata y describe de forma resumida, la metodología y técnicas aplicadas en la investigación y estudios periciales, asociados a siniestros complejos, desarrollándose de acuerdo con dos ejemplos reales, que desgraciadamente tuvieron consecuencias fatales.

Dada precisamente, la complejidad que incorporan los siniestros asociados a colapsos en estructuras temporales, es especialmente importante que los peritos actuantes, que tratan de esclarecer las causas técnicas, sean muy estrictos y exhaustivos en su investigación, sin descartar en ningún momento ninguna hipótesis, e intentando aplicar diferentes metodologías para la determinación de/los mecanismo/s que indujeron al fallo/s, y por tanto el colapso del sistema/equipo/instalación en su conjunto.

Otro aspecto fundamental para que el estudio y dictamen pericial dispongan de la calidad y eficacia deseadas, y por tanto adquiera la importancia y peso específico necesarios durante el proceso judicial, es el empleo de un lenguaje llano y sencillo, facilitando la comprensión de las causas técnicas que han originado el fallo, a los diferentes agentes que participan en dicho proceso judicial (jueces, fiscalía, letrados),

y que lógicamente no disponen de los conocimientos técnicos en la materia [2].

La experiencia, seriedad, profesionalidad, imparcialidad, y profundidad en la investigación, serán las claves para poder determinar y demostrar científica y técnicamente, cuáles han sido las causas que han provocado el fallo o colapso estructural.

La singularidad, complejidad y características especiales que rodean a los siniestros "a priori" impredecibles, derivados de fallos estructurales con roturas/fracturas de naturaleza frágil, hace que resulte especialmente importante personarse con la mayor urgencia posible en el lugar de los hechos, recopilando toda la información que sea posible y prestando especial atención a la recuperación, custodia y trazabilidad durante todo el proceso de aquellas piezas pertenecientes al sistema, equipamiento o instalación, que han sufrido fracturas y/o deformaciones importantes.

Ya que de esta forma podremos realizar las inspecciones, ensayos, y evaluaciones pertinentes sobre las propias piezas del equipamiento o instalación que ha sufrido el colapso, para determinar de forma fehaciente las características y propiedades químicas, físicas, y mecánicas, que a su vez nos de la información necesaria para conocer las condiciones reales de seguridad estructural en la que se encontraba el sistema/equipo/instalación siniestrado, debido estrictamente a la naturaleza de los materiales.

Los casos reales tomados como ejemplo para el desarrollo del presente artículo, se tratan de siniestros por colapso estructural en dos tipos de estructuras metálicas, habitualmente empleadas en las obras de construcción y de suministro de líneas eléctricas, por lo que, cuyo comportamiento estructural ha sido más que evaluado y por tanto es sobradamente conocido.



Figura 1: Estado final apoyo celosía tipo siniestrado durante ejecución línea de alta tensión.

Los ejemplos a estudiar son:

1. Colapso de un apoyo metálico en celosía durante la ejecución de línea eléctrica de alta tensión (Fig. 1).



Figura 2: Estado final encofrado vertical trepante siniestrado durante ejecución estructura vertical de hormigón armado.

1.1 DESCRIPCIÓN SINIESTRO EN CADA CASO

1. Colapso de apoyo metálico en celosía durante la ejecución de línea eléctrica de alta tensión.

Se produjo durante las operaciones de paso y colocación definitiva de la línea de conductores, en los seis nudos emplazados en los extremos de las crucetas del apoyo metálico en celosía tipo. Durante la operación de engrapado de los conductores, concretamente en uno de los nudos situado en cruceta intermedia y en el sentido de la serie del cantón de la numeración descendente de apoyos. En el instante de destensado del conductor para descenderlo al suelo y realizar el engrapado (tensión definitiva) a nivel del terreno, se produjo el desplome de la parte superior de la estructura, realizando un giro anti horario y un plegado vertical, hasta impactar contra el terreno.

2. Colapso de equipo temporal de trabajo (encofrado vertical trepante) por fractura de elemento de fijación durante la ejecución de paramento vertical de hormigón armado.

Sucedió en uno de los módulos extremos de un sistema de encofrado vertical trepante, durante la ejecución de una estructura vertical de hormigón armado. En el instante de atado y preparación de las armaduras en zona de coronación, como paso preliminar para el siguiente hormigonado y por tanto con los paneles verticales en posición de desencofrado. Se produjo entonces el volteo vertical de todo el conjunto por fractura de uno de los elementos de fijación, desplomándose posteriormente todo el conjunto al vacío, por la insuficiente resistencia del otro punto de anclaje para sustentar todo el conjunto.

2. Colapso de equipo temporal de trabajo (encofrado vertical trepante) por fractura de elemento de fijación durante la ejecución de paramento vertical de hormigón armado.

Por tanto, de los dos ejemplos que nos ocupan, la cuestión principal a plantearse, atendiendo a la inspección y datos iniciales recabados del lugar del siniestro es:

1. Colapso apoyo celosía. ¿Por qué se produce el desplome por esfuerzos de flexión y torsión de la zona superior del apoyo de celosía?
2. Colapso equipo temporal de trabajo. ¿Por qué se produce la rotura por esfuerzo cortante de uno de los elementos de fijación (tornillo alta resistencia), de los dos que dispone el sistema para sustentar un módulo de este sistema de encofrado vertical?

2. METODOLOGÍA

El rigor en la metodología empleada y la profundidad en la investigación son claves para que el estudio y dictamen pericial tenga la eficacia deseada, y por consiguiente, se pueda fundamentar y demostrar sin fisuras cuáles han sido las causas técnicas que han desencadenado el fallo estructural.

Para ello, y teniendo en cuenta la experiencia adquirida en la investigación pericial de siniestros especialmente complejos, es importante y recomendable que se prevea y aplique una metodología que tenga en cuenta los siguientes aspectos [3]:

- ◆ Visita al lugar del siniestro con la mayor urgencia, realizando una inspección visual y reportaje fotográfico en todo el área de influencia del accidente, con especial relevancia y detalle en el sistema/equipo/instalación que ha sufrido el colapso.
- ◆ Recuperación de los materiales/elementos/componentes/piezas pertenecientes al sistema/equipo/instalación que han sufrido fracturas, roturas, o un nivel de deformaciones

importantes, documentando permanentemente la trazabilidad de dichas piezas.

- ◆ Estudio del marco reglamentario (disposiciones de obligado cumplimiento) y normativo (especificaciones técnicas, normas UNE EN ISO) que es de aplicación al sistema/equipo/instalación que ha sufrido el siniestro [4-33].
- ◆ Planteamiento y propuesta del programa de actuación en el marco de la investigación pericial:
 - a. Trabajos adicionales de campo en el lugar del accidente.
 - b. Solicitud y evaluación exhaustiva de la documentación relevante que obra en el expediente.
 - c. Planificación preliminar de los posibles estudios

experimentales (ensayos de laboratorio) y métodos analíticos (cálculo), que pueden ser de aplicación de acuerdo con la tipología de fallo y las características del equipo siniestrado.

- ◆ Análisis y comprensión del comportamiento estructural global del sistema/equipo/instalación.
- ◆ Reconstrucción del estado primitivo (condición de servicio) del sistema/equipo/instalación, para la función para la cual ha sido diseñado y fabricado (Fig. 3 y Fig. 4).
- ◆ Evaluación detallada de los datos de campo, evaluación de la documentación del expediente, resultados de los estudios analíticos y experimentales.
- ◆ Elaboración Informe Técnico Pericial.
- ◆ Determinación causas técnicas → Dictamen Pericial

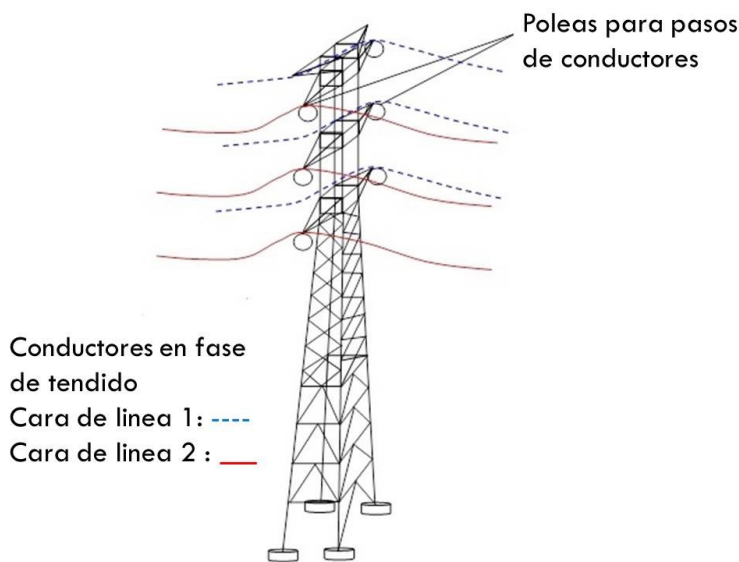


Figura 3: Esquema general paso de conductores en apoyo celosía línea alta tensión.

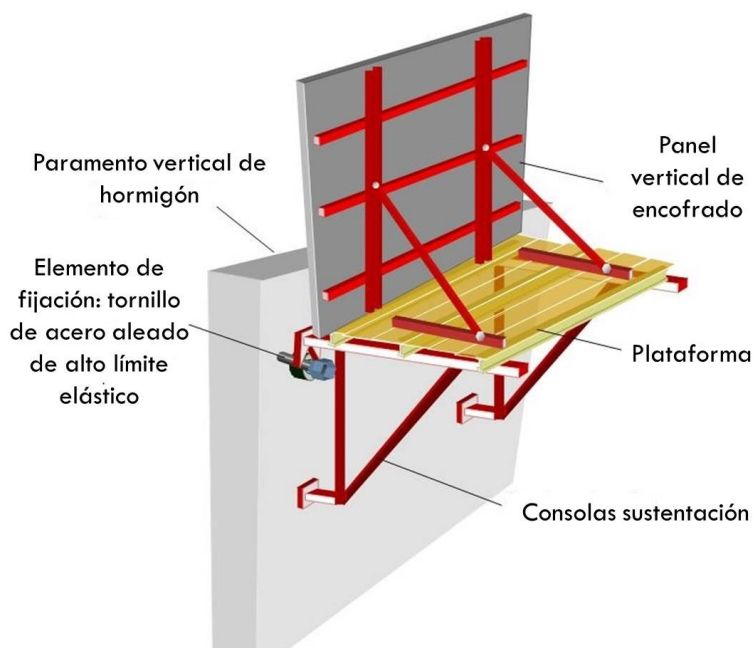


Figura 4: Esquema general básico sistema de encofrado vertical trepante.

2.1 DESCRIPCIÓN ESTADO INMEDIATAMENTE ANTERIOR AL COLAPSO

2.1.1 APOYO METÁLICO EN CELOSÍA DURANTE LA EJECUCIÓN DE LÍNEA ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN

El estado del comportamiento estructural del apoyo metálico en celosía justo antes del momento del colapso, era el siguiente:

- ♦ Ausencia de cuatro diagonales de rigidización en las caras de línea, dos en una cara y las otras dos en la cara simétrica, justo en la zona de la parte denominada “cabeza” del apoyo, en el tramo inmediatamente posterior

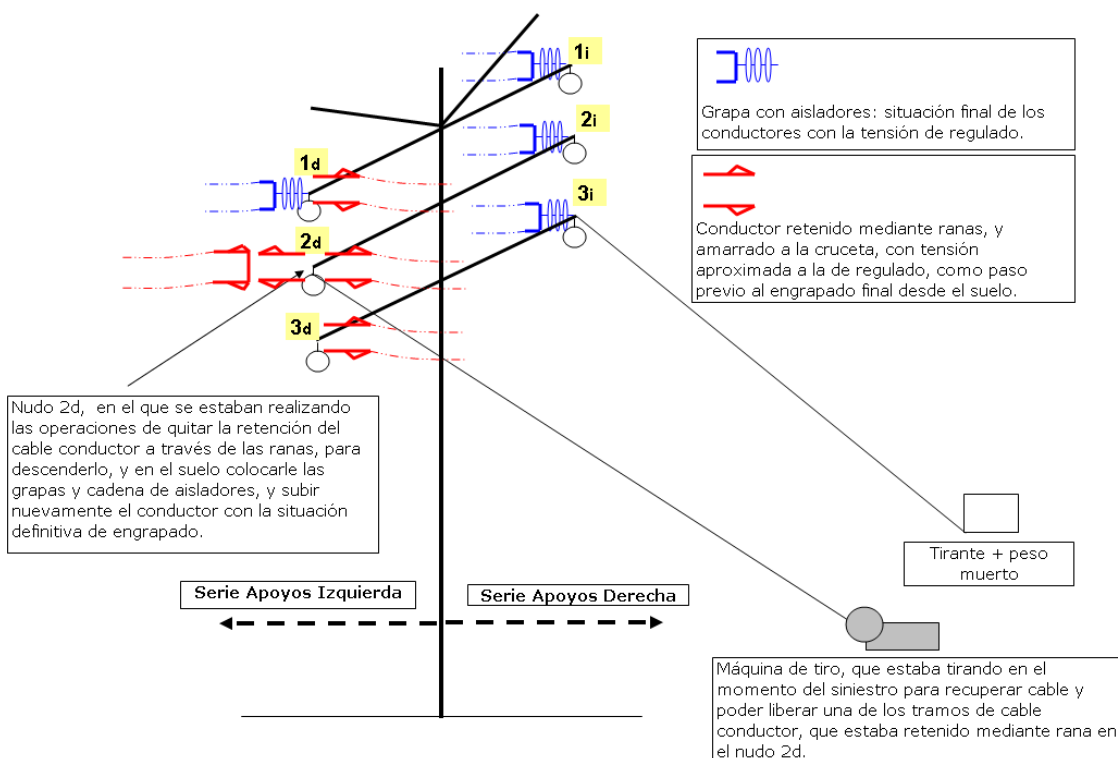


Figura 5: Situación apoyo metálico celosía instante anterior al colapso.

2.1.2 EQUIPO TEMPORAL DE TRABAJO (SISTEMA DE ENCOFRADO TREPANTE) PARA EJECUCIÓN PARAMENTO VERTICAL DE HORMIGÓN ARMADO

El estado del comportamiento estructural del módulo del sistema de encofrado trepante vertical justo antes de sufrir el colapso, era el siguiente:

Módulo estaba apoyado y sustentado en dos elementos de fijación (tornillos de acero aleado de alto límite elástico) introducidos en la masa de hormigón de forma sensiblemente ortogonal al paramento vertical, y a través de unos conos metálicos que previamente han sido embebidos en la masa de hormigón en estado fresco.

Uno de los tornillos se encontraba en una situación crítica, debido por un lado a una deficiencia geométrica, al no estar perfectamente enrasado con el paramento vertical (Fig. 6), por lo que se están induciendo esfuerzos de flexión.

Y por otro lado, sufría una fragilización por elevado

a la zona anterior denominada “fuste” y que tiene forma tronco piramidal.

- ♦ De las tres cruces que disponía el apoyo tipo en celosía para el paso de las correspondientes líneas de conductores, tanto en el avance desde el lado izquierdo como desde el lado derecho, la situación era que, de los seis nudos (dos por cruzeta) para paso de línea de conductores, sólo estaba completamente compensado uno de ellos, presentándose una situación de descompensación de esfuerzos de magnitud 5T, que estaba sometiendo a la estructura a unos esfuerzos importantísimos de torsión en sentido anti-horario (Fig. 5).

contenido de hidrógeno en su microestructura, lo que provocaba un inicio de frente de fisura que avanzaba desde la superficie (valle de los filetes roscados del tornillo en su zona cercana de salida del paramento de hormigón) hacia el núcleo, que a su vez reducía considerablemente su capacidad mecánica y además conferirle un comportamiento frágil.



Figura 6: Estado zona del anclaje fracturado.

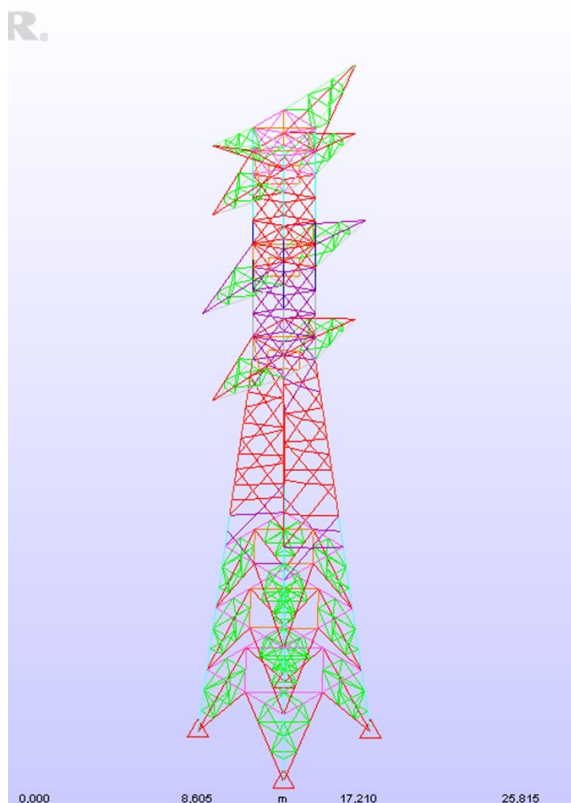
3. RESULTADOS Y DICTAMEN PERICIAL

En ambas investigaciones periciales, tanto el colapso del apoyo metálico en celosía, como la fractura del elemento de fijación del sistema de encofrado vertical trepante, fueron absolutamente concluyentes sobre las causas técnicas que habían provocado el fallo de ambas estructuras.

3.1 RESULTADOS COLAPSO APOYO METÁLICO EN CELOSÍA LÍNEA AÉREA DE ALTA TENSIÓN

De los datos de campo en el lugar del siniestro:

- ♦ Forma de colapso del apoyo en celosía, que por su posición final de desplome y las deformaciones existentes en los diferentes perfiles de acero, evidenciaba que había sufrido un giro anti-horario y se habían alcanzado unas tensiones superiores a la tensión de rotura del acero en determinadas barras de la estructura (Fig. 1).



Experimentalmente, mediante ensayos realizados en laboratorio competente sobre los diferentes perfiles recuperados del apoyo siniestrado, se verificó que no existía anomalía alguna en la calidad de acero, según las propiedades físico-mecánicas teóricas para dicha clase resistente, a partir de los valores obtenidos en los ensayos físicos, químicos y mecánicos.

Analíticamente, con el desarrollo de modelos de cálculo por el método de los elementos finitos, se verificaron las condiciones de seguridad de la estructura para diferentes estados de carga, tanto las de diseño de proyecto (Fig. 7a), como el posterior estado en desequilibrio (Fig. 7b). Resulta concluyente el hecho de que para la situación inmediatamente anterior al colapso, con una descompensación de esfuerzos de magnitud 5T, se incorporan y se concentran, justo en la zona de la estructura en la que hay ausencia de los cuatro perfiles de rigidización, unas tensiones de magnitud superior al límite de rotura para esa clase de acero, lo que provocó el fallo global de la estructura por los esfuerzos

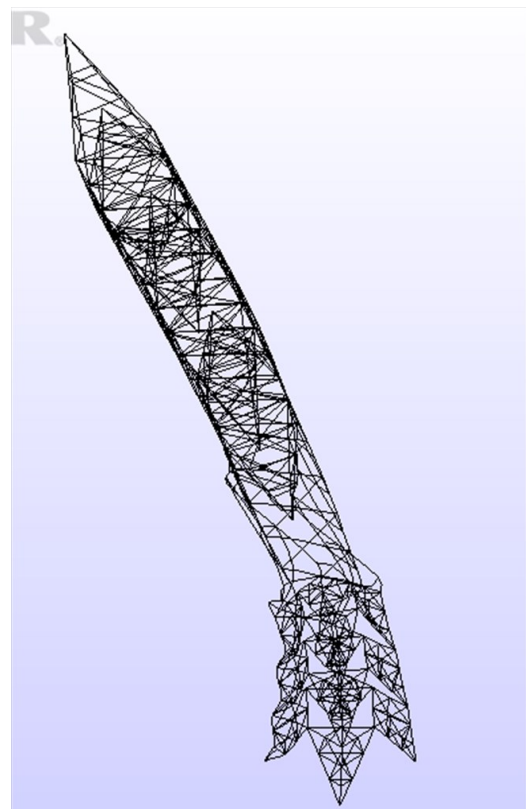


Figura 7: Modelos de cálculo por elementos finitos del apoyo en celosía (izquierda 7a, derecha 7b).

3.2 RESULTADOS FRACTURA ELEMENTO DE FIJACIÓN (TORNILLO DE ACERO ALEADO DE ALTO LÍMITE ELÁSTICO) DEL ENCOFRADO VERTICAL TREPANTE

De los diferentes ensayos de caracterización realizados por laboratorio competente sobre la parte del tornillo que sufrió la fractura, y que fue posteriormente recuperado por la policía judicial, se obtuvo una información fundamental para la justificación de las causas técnicas que provocaron la fractura de dicho elemento de fijación.

El tornillo de acero aleado de calidad 8.8, y por tanto de

elevado límite elástico, sufría una fragilización, debido al fenómeno de absorción de hidrógeno en la microestructura del acero [18-22]. Este fenómeno se origina cuando el hidrógeno atómico penetra en el acero, lo que causa la pérdida de ductilidad, una reducción importante en su capacidad de soportar cargas y su fisuración. En definitiva, puede provocar un colapso por rotura frágil, al aplicar esfuerzos muy por debajo del límite elástico, o incluso de su resistencia normal de diseño para la aleación. Esta fragilización por absorción de hidrógeno quedó evidenciada de los resultados de los siguientes ensayos:

- ◆ Análisis de hidrógeno: obteniéndose en la corteza del tornillo una concentración de hidrógeno especialmente elevada, del orden de cinco veces respecto de la concentración normal.
- ◆ Análisis de fractografía: se observaron fracturas frágiles transcristalinas con gran profusión de planos de clivaje, circundados por zonas dúctiles desgarrado.
- ◆ Ensayo de resiliencia mediante flexión por choque con péndulo Charpy: se obtuvo una resiliencia de una energía (J) cuatro veces menor que el valor mínimo establecido por la normativa [21]

El estudio por vía analítica fue especialmente complejo, dado que se realizó un estudio para determinar la capacidad mecánica del tornillo a partir de teoría de fractura y diagramas de fallo (FAD- Failure Analysis Diagram), teniendo en cuenta que éste sufría una fragilización por inducción de hidrógeno, y por tanto, no se podía aplicar el análisis convencional de estructuras bajo los estados límite.

Para ello se desarrolló un modelo detallado de cálculo por elementos finitos del tornillo/barra de acero que sufrió la fractura, introduciendo en dicho modelo el comportamiento mecánico real de los datos obtenidos de laboratorio, y por tanto con la condición de material frágil (Fig. 8).

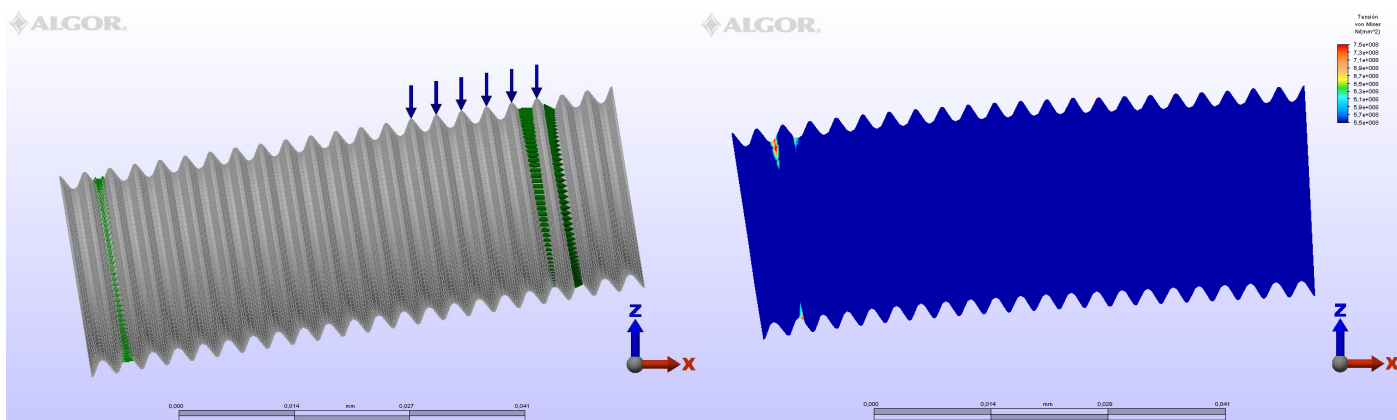


Figura 8: Modelización y análisis estado tensional tornillo fracturado, con propiedades del material en estado de fragilización.

El análisis en mecánica de fractura se realiza aplicando el procedimiento European Fitness Service for Network (FITNET FFS Procedure), que recoge un procedimiento de evaluación estructural frente a los cuatro principales modo de fallo; fractura-colapso plástico, fatiga, fluencia, o creep y corrosión, [18-20].

Este procedimiento a su vez se apoya en los diagrama de fallo (FAD), basados en numerosas estadísticas y simulaciones de Montecarlo, que finalmente han permitido establecer unos diagramas que interrelacionan la tenacidad a fractura (valor medio obtenido en el ensayo de resiliencia) y estado tensional, para los diferentes elementos de acero en función de su calidad (8.8) y sección resistente (diámetro) (Fig. 9).

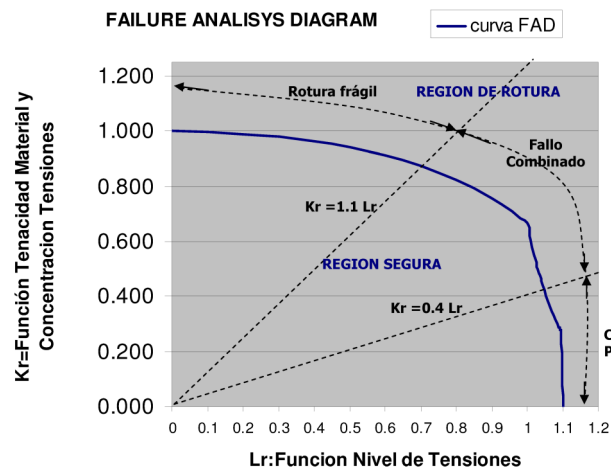


Figura 9: Diagrama FAD para elementos de acero aleado de alto límite elástico con fragilización.

3.3 CONCLUSIONES Y DICTAMEN PERICIAL EN EL COLAPSO DEL APOYO METÁLICO EN CELOSÍA DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA LÍNEA ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN

Una serie de evidencias confirman las causas expresadas para el fallo que nos ocupa:

- ◆ Queda descartada la posibilidad de fallos en los materiales, en sus propiedades y resistencias mecánicas, como se ha comprobado en las pruebas de laboratorio.
- ◆ Se han efectuado las operaciones de tendido, regulado y engrapado de fijación de los conductores con la estructura incompleta, con la falta de cuatro barras diagonales en dos caras de línea del fuste y sin atender los requisitos del procedimiento de montaje.
- ◆ El fallo se ha producido en el entorno del tramo incompleto de la zona del fuste del apoyo.
- ◆ El proceso de tendido y fijación definitiva de conductores en las seis fases del apoyo siniestrado no se ha realizado de forma compensada, permitiendo que las tres crucetas que integran la cabeza de la estructura metálica del apoyo, actuaran en sus extremos tensiones de conductores desequilibradas.

Por lo que el dictamen pericial sobre las causas técnicas que han motivado el colapso estructural del apoyo de celosía durante la ejecución de línea de suministro de alta tensión es:

“El fallo y posterior colapso del apoyo metálico en celosía objeto del presente estudio pericial, se ha producido, por la superposición de dos situaciones concretas actuando eficaz y

simultáneamente”

- ◆ El proceso de tendido y engrapado de conductores en el apoyo siniestrado, con la estructura incompleta faltando cuatro diagonales de rigidización (perfiles de acero en L) en las caras de línea (caras paralelas al trazado de los conductores), ha conducido al fallo, justo en la zona de la estructura en la que existía ausencia de dichas elementos de rigidización, resultando la zona más débil de la estructura, produciéndose así el colapso del apoyo.
- ◆ Como consecuencia del procedimiento y operaciones de tendido, regulado y engrapado de conductores realizados en el apoyo de celosía siniestrado, se ha producido una descompensación de fuerzas tal, que ha inducido unos esfuerzos de flexión y torsión de magnitudes muy superiores para la cual está diseñada la estructura metálica del apoyo tipo, alcanzándose tensiones superiores a la tensión límite de rotura del acero, teniendo lugar el consecuente colapso estructural.

3.4 CONCLUSIONES Y DICTAMEN PERICIAL EN EL COLAPSO DEL EQUIPO TEMPORAL DE TRABAJO (ENCOFRADO VERTICAL TREPANTE) DURANTE LA EJECUCIÓN DE PARAMENTO VERTICAL DE HORMIGÓN ARMADO

De todos los datos obtenidos en el proceso de investigación, así como de los resultados de los métodos experimentales (ensayos de laboratorio) y evaluaciones analíticas (modelos de cálculo), con objeto de determinar la causas técnicas que han producido el desplome de un módulo de sistema de encofrado vertical trepante sustentado a través de dos anclajes, fijados al paramento vertical de hormigón armado, se puede concluir que:

“El colapso estructural se produce por la superposición de dos causas actuando simultáneamente”:

- ◆ El tornillo/barra de acero fracturada ha estado sometida a un estado tensional complejo debido a las desviaciones geométricas de todo el anclaje (cono embebido en hormigón + anillo posicionador + tornillo/barra) respecto de su posición normal de diseño, que ha motivado por un lado la aparición de fisuras en los valles de las primeras roscas adyacentes al plano de fractura, por posibles operaciones para conseguir el encaje geométrico, así como verse sometida a elevados esfuerzos de flexión para los cuáles no están diseñados estos elementos de fijación.
- ◆ La muy baja tenacidad a fractura que presenta la barra de acero fracturada como consecuencia de la fragilización por absorción de hidrógeno, como así se ha evidenciado de los resultados del valor de resiliencia de los ensayos de laboratorio. Destacando que esta baja tenacidad a fractura, es la que deja al material sin capacidad para poder absorber un posible frente de fisuración.

4. CONCLUSIONES

Como se ha podido comprobar, es fundamental realizar un análisis en profundidad de todas las variables que han intervenido en el fallo estructural, ya que en un gran número

de ocasiones los colapsos asociados a estas estructuras, se producen por una concatenación de causas.

El éxito de una investigación pericial de estas características, radica en la profundidad de la misma, para lo cual se deben cumplir los siguientes ítems:

- ◆ Inspección exhaustiva del *sistema/equipo/instalación* siniestrado, con recuperación y especial atención a las piezas que han sufrido mayores daños.
- ◆ Estudio detallado de todo el marco normativo, tanto de carácter técnico como reglamentario, que es de aplicación en el *sistema/equipo/instalación* objeto del siniestro, así como de forma individual de los componentes que lo integran.
- ◆ Investigación del estado del arte, sobre la misma tipología de fallo estructural que pueda haber acontecido en otras partes del mundo, en sistemas, equipos, o instalaciones de características similares al accidentado.
- ◆ Apoyo técnico con laboratorios competentes en la materia, para diseñar un programa de ensayos, que permita conocer las propiedades y características reales de la naturaleza de los materiales, en aquellas piezas que han sido recuperadas del lugar del accidente que forman parte del equipo y tienen relevancia desde el punto de vista de la capacidad estructural del conjunto.
- ◆ Estudio y conocimiento en profundidad, del comportamiento estructural del *sistema/equipo/instalación* para su aplicación. Resultando especialmente relevante y necesario, la utilización de modelos de cálculo avanzado, que permitan el análisis en regímenes no lineales. Es fundamental la introducción en dichos modelos de las propiedades mecánicas reales de los materiales, de acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio.

Asimismo, es de suma importancia, que las conclusiones y dictamen pericial, como consecuencia del arduo y exhaustivo proceso de investigación, estén redactadas en un lenguaje sencillo y comprensible para alguien profano en la materia.

Ya que todo el trabajo realizado podría verse ensombrecido si no somos capaces de transmitir en lenguaje conciso y llano, las causas técnicas que han inducido el fallo estructural. Sin que, en ningún caso, se dejen abiertas posibilidades de interpretación, ni aspectos que no son objeto del estudio pericial de carácter técnico, como podrían ser los temas de responsabilidades y otros de naturaleza jurídica, más si cabe, teniendo en cuenta las importantes consecuencias legales y penales que derivan de los siniestros de consecuencias graves.

5. REFERENCIAS

- [1] Ley 01 de 07 de Enero de 2000 de Enjuiciamiento Civil
- [2] Martínez, C., Pérez, R., Ruiz, R. “Peritación de la práctica preventiva en seguridad en el trabajo II”. Junio 2015.
- [3] UNE 197001:2011 “Criterios generales para la elaboración de informes y dictámenes periciales”.
- [4] Real Decreto 223/2008, mediante el que se aprueba el “Reglamento sobre

condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión”.

[5] Instrucción técnica complementaria para líneas de alta tensión_ITC-LAT 01 Terminología.

[6] Instrucción técnica complementaria para líneas de alta tensión_ITC-LAT 02 Normas y especificaciones técnicas de obligado cumplimiento.

[7] Instrucción técnica complementaria para líneas de alta tensión_ITC-LAT 03 Instaladores autorizados y empresas instaladoras autorizadas para líneas de alta tensión.

[8] Instrucción técnica complementaria para líneas de alta tensión_ITC-LAT 04 Documentación y puesta en servicio de las líneas de alta tensión.

[9] Instrucción técnica complementaria para líneas de alta tensión_ITC-LAT 05 Verificaciones e inspecciones.

[10] Instrucción técnica complementaria para líneas de alta tensión_ITC-LAT 07 Líneas aéreas con conductores desnudos.

[11] Instrucción técnica complementaria para líneas de alta tensión_ITC-LAT 09 Anteproyectos y Proyectos.

[12] UNE 204002:2002 “Trabajos en tensión. Instalación de conductores de líneas de distribución. Equipos de tendido y accesorios”.

[13] UNE 207017:2010 “Apoyos metálicos de celosía para líneas eléctricas aéreas de distribución”.

[14] UNE-EN 60652:2004 “Ensayos mecánicos de estructuras para líneas eléctricas aéreas”.

[15] Real Decreto 1627:1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. (Directiva 92/57/CEE de 24 de Junio de 1992).

[16] Real Decreto 1215/1997 (modificado por el R.D 2177/2004) establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. (Directiva 89/655/CEE de 30 de Noviembre de 1989).

[17] REAL DECRETO 1801/2003, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos. (Directiva 2001/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de diciembre de 2001).

[18] FITNET FFS Procedure, Final Draft MK7, Prepared by European Fitness-for-Service Network-FITNET, 2006.

[19] SINTAP, “Structural Integrity Assessment Procedure for European Industry”, SINTAP BRITE-EURAM Project BRPR-CT95-0024, 1999.

[20] API 579, “Recommended Practice for Fitness for Service”, Draft Issue 4, American Petroleum Institute, 1996.

[21] UNE-EN ISO 898-1: 2000 “Características mecánicas de los elementos de fijación fabricados de aceros al carbono y de aceros aleados. Parte 1: Pernos, Tornillos y Bulones”.

[22] UNE-EN ISO 15330: 2000 “Elementos de Fijación. Ensayo de precarga para la detección de la fragilización por absorción de hidrógeno. Método de las placas paralelas”.

[23] UNE-EN 1991-1-1:2003 “Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-1. Acciones Generales. Pesos específicos, pesos propios, y sobrecargas de uso en edificios”.

[24] UNE-EN 1991-1-4:2007 “Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. PARTE 1-4: Acciones Generales. Acciones de viento”.

[25] UNE-EN 1993-1-1:2008 “Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte

1-1: Reglas generales y reglas para edificios”.

[26] UNE-EN 1995-1-1:2006 “Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación”.

[27] UNE-EN 12811-1:2005 “Equipamiento para trabajos temporales de obra”, parte 1: Andamios, “Requisitos de comportamiento y diseño general”.

[28] UNE-EN 12811-2:2005 “Equipamiento para trabajos temporales de obra”, parte 2: Información sobre los materiales.

[29] UNE-EN 12811-3:2003 “Equipamiento para trabajos temporales de obra”, parte 3: Ensayo de Carga.

[30] UNE-EN ISO 4014: 2001 “Pernos de cabeza hexagonal. Productos de clases A y B”.

[31] UNE-EN 10204: 2006. “Productos Metálicos. Tipos de documentos de inspección”.

[32] UNE-EN ISO 10168:2007. “Productos de acero. Documentos de inspección. Lista y descripción de la información”.

[33] UNE-EN ISO 3269:2000 “Elementos de fijación. Control de Recepción”.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.