

# Análisis de falla en cable de acero

E. A. Ossa<sup>1</sup> y M. A. Paniagua<sup>2</sup>

*Recepción: 29 de julio de 2005 — Aceptación: 18 de octubre de 2005*

*Se aceptan comentarios y/o discusiones al artículo*

---

## Resumen

Este artículo describe el análisis de falla realizado en dos muestras de cables de acero que sufrieron falla súbita bajo condiciones de carga de trabajo normales. La falla fue causada por una carga menor a la capacidad nominal. Luego de inspección óptica se evidenció que la falla fue ocasionada por fatiga del material de uno de los cables.

**Palabras claves:** cables, análisis de fallas, mecánica forense, ensayos mecánicos, metalografía, fractografía.

## Abstract

This paper describes the failure analysis of two wire ropes fractured during normal working conditions. The failure was caused by a load well below the nominal maximum resistance of the ropes. Optical microscopy indicated fatigue failure of one of the cables.

**Key words:** wire ropes, failure analysis, mechanical testing, metallography, fractography.

---

## 1 Introducción

Una de las ramas más interesantes de la ingeniería por su inherente valor académico e industrial es la mecánica forense. Esta se encarga de establecer e investigar las causas de fallas o accidentes en componentes mecánicos y civiles de todo tipo, que van desde agujas para coser hasta componentes utilizados en la industria aero-espacial y bio-médica. Dichos análisis de fallas son importantes para poder establecer de una manera adecuada y sistemática las causales de fallas y poder tomar los correctivos necesarios para evitar

---

<sup>1</sup> Doctor, Alex.Ossa@nottingham.ac.uk, research fellow, Nottingham Centre for Pavement Engineering, University of Nottingham.

<sup>2</sup> Ingeniero Metalúrgico, mpaniag@eafit.edu.co, asesor del Laboratorio de Materiales, Universidad EAFIT.

la repetición de accidentes que, además de causar pérdidas materiales, pueden conllevar a pérdidas humanas irreparables.

En la investigación de fallas intervienen ramas de la ingeniería tan variadas como materiales de ingeniería, mecánica del medio continuo, mecánica de la fractura, metalurgia, procesos de manufactura, termodinámica y transferencia de calor, tribología, corrosión y fractografía, entre otras.

En la ejecución de un análisis de fallas se deben tener en cuenta factores tales como la historia previa del elemento a analizar, tipo de material y estructura, temperaturas de trabajo, planes de mantenimiento y hasta la hoja de vida de los operarios del equipo o máquina llegan a ser importantes en algunos casos.

El objetivo de este artículo es determinar la(s) causa(s) de la falla de un cable de acero utilizado para levantar y posicionar cargas.

## 2 Descripción de los elementos a analizar

Se recibieron, para su respectivo estudio, dos muestras fracturadas de cable de acero de  $12,7\text{ mm}$  ( $1/2''$ ) de diámetro nominal. Dichas muestras fueron utilizadas para levantar y posicionar el brazo de una pluma grúa con un peso aproximado de  $50\text{ kN}$  ( $5\text{ t}$ ) en una construcción civil en la ciudad de Medellín. Dichos cables fallaron durante el servicio y fueron enviados para determinar si la falla súbita fue debida a defectos del material o a mala manipulación por parte del operario de la grúa.

## 3 Procedimiento experimental

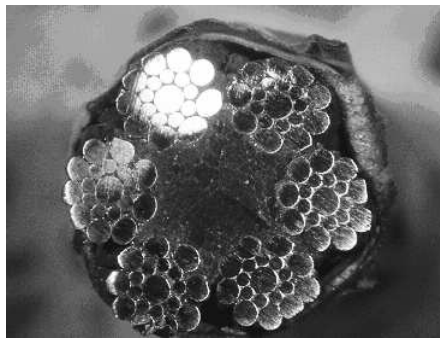
Se realizó una inspección macroscópica y metalográfica en ambos cables mediante la utilización de métodos ópticos. Previo a esta inspección óptica, se removió todo tipo de grasa y suciedad de las muestras teniendo especial cuidado en no distorsionar las superficies de fractura (ver [1] y [2] para una completa exposición sobre métodos ópticos de inspección de materiales).

Se realizaron pruebas mecánicas de tracción en los cables utilizando una máquina universal hidráulica de ensayos con clase de exactitud 1, capacidad máxima de  $120\text{ kN}$  y una resolución de  $20\text{ N}$ . Este tipo de pruebas fueron realizadas con el fin de determinar la carga máxima que están en capacidad de soportar los cables. Dos porciones de cable, con una longitud aproximada de  $200\text{ mm}$  cada una, fueron tomadas a una distancia de  $200\text{ mm}$  de la zona de fractura en cada uno de los cables, para evitar así ensayar zonas que posiblemente hubiesen sufrido acumulación de tensiones o deformaciones plásticas debidas a la falla súbita. Las muestras de  $200\text{ mm}$  de longitud fueron sometidas a tensión cuasi-estática a una velocidad de deformación de  $5\text{ mm/min}$  (ver [3] y [4] para una completa exposición sobre ensayos mecánicos de tracción y sus respectivos equipos y forma de empleo).

## 4 Resultados y análisis

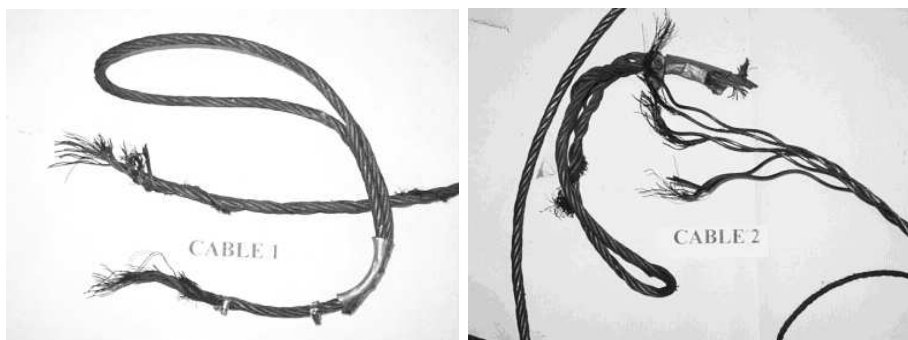
### 4.1 Estudio macroscópico

Mediante el estudio macroscópico óptico de baja amplificación (máximo  $20x$ ) es posible determinar las características básicas de la falla que se esté analizando. La figura (1) muestra la sección transversal de los cables. El cable consiste de seis torones de acero conformados cada uno por 19 alambres de tres diámetros diferentes y un centro (o alma) polimérico blando.



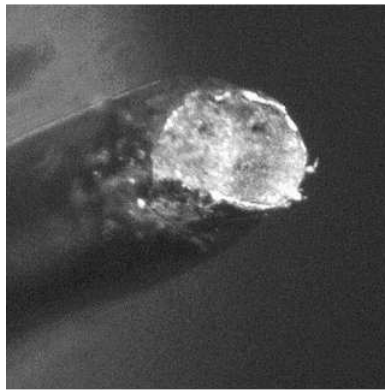
**Figura 1:** Sección transversal de los cables ( $4,2x$ )

La figura (2) (izquierda) muestra la zona fracturada del cable 1. Note que la fractura de este cable se produjo en una zona intermedia del cable a unos  $20\text{ cm}$  del acople. Mientras que la figura (2) (derecha) muestra la zona fracturada del cable 2. En este caso, a diferencia del cable 1, la falla se produce en la zona de acople.



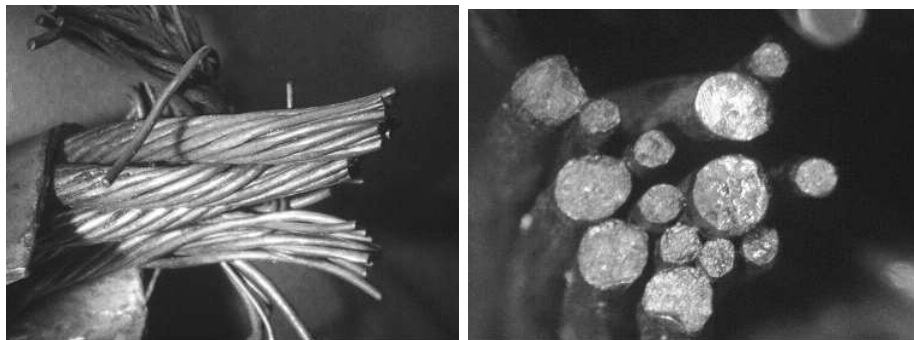
**Figura 2:** Cable 1 (izquierda). Cable 2 (derecha).  $0,2x$

En la figura (3) se puede observar uno de los alambres fracturados del cable 1. Este tipo de falla fue encontrado típicamente en los diferentes filamentos de este cable. Este tipo de fractura, denominada *copa y cono*, es comúnmente encontrada en metales dúctiles sometidos a cargas excesivas.



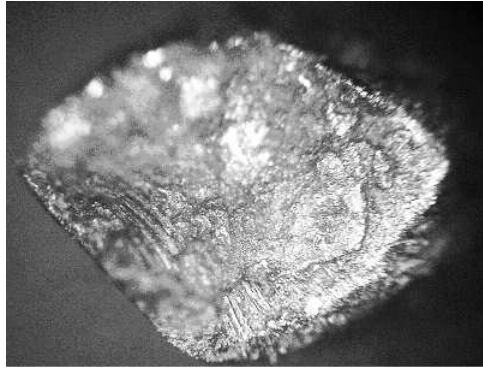
**Figura 3:** Fractura típica de los filamentos del cable 1 (4 *x*)

En la figura (4) (izquierda) se muestran tres de los torones fracturados del cable 2. Note que dichos alambres presentan ruptura perpendicular al eje longitudinal. En la figura (4) (derecha), por otra parte, se puede apreciar la zona fracturada de dichos alambres. Es importante resaltar que en esta zona la falla se presenta sin reducción de área, opuesto al caso del cable 1 (figura 3). Este tipo de fractura ocurre comúnmente en materiales frágiles o dúctiles expuestos a cargas repetitivas de fatiga.



**Figura 4:** Fractura de cable 2. Note la fractura perpendicular a los alambres (izquierda) (2,25 *x*), (derecha) (15 *x*)

Un examen microscópico a mayor amplificación de una de las zonas fracturadas del cable 2 se presenta en la figura (5). En esta figura es importante notar la zona estriada a la izquierda del alambre. Este tipo de marcas, llamadas *marcas de playa*, son generalmente asociadas a fallas ocasionadas por cargas cíclicas causantes de fatiga en el material.

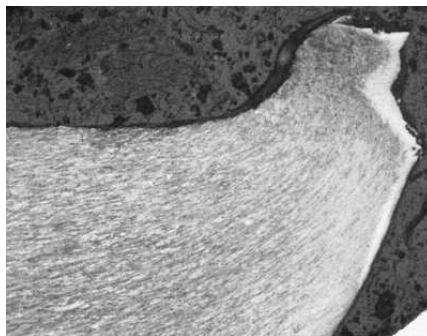


**Figura 5:** Fractura en cable 2. Note las zonas estriadas (75  $x$ )

#### 4.2 Análisis metalográfico

Mediante el análisis metalográfico de los materiales fallados es posible establecer diferencias entre las micro-estructuras de éstos y de materiales en estado de suministro. Este tipo de análisis acompañado del estudio macroscópico descrito anteriormente puede llevar a establecer de una manera específica la causa final de la falla.

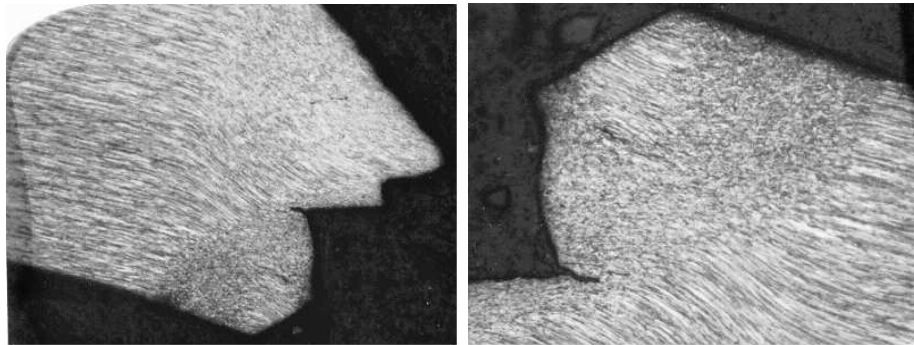
La microestructura de la zona cercana a la fractura de uno de los alambres del cable 1 se muestra en la figura (6).



**Figura 6:** Microestructura del cable 1 (186  $x$ )

La microestructura consiste de granos de perlita y ferrita alargados en la dirección longitudinal. En el sitio de fractura del material, los granos aparecen alargados paralelamente al plano de la fractura, indicación ésta de deformación plástica previa a la fractura del cable.

La figura (7) muestra la microestructura cercana a la fractura en uno de los alambres del cable 2. La microestructura consiste de granos de ferrita y perlita alargados en la dirección longitudinal. Es importante notar que en la región cercana a la fractura los granos del material dejan de ser alargados y se convierten en equiaxiales, lo cual indica un debilitamiento de la resistencia mecánica del material en esta zona.



**Figura 7:** Microestructura del cable 2 (92 x) y (194 x)

### 4.3 Ensayos mecánicos

Muestras de los cables 1 y 2 (ver figura 2) fueron sometidas a pruebas de tensión quasi-estática con una velocidad de deformación de  $5 \text{ mm/min}$  con el objeto de determinar la carga máxima que están en capacidad de soportar y compararla con la carga aplicada al momento de la falla.

La tabla (1) presenta los resultados de las pruebas en dichos cables. Estas mediciones muestran un comportamiento similar en ambos cables, con un promedio de resistencia máxima de aproximadamente  $90 \text{ kN}$  ( $9t$ ). Es importante comparar el valor de resistencia máxima medida con la carga soportada al momento de la falla que fue de  $50 \text{ kN}$  ( $5t$ ). Esto lleva a concluir que la falla no fue causada por sobre carga, máxime teniendo en cuenta que los  $50 \text{ kN}$  fueron soportados por ambos cables simultáneamente.

**Tabla 1:** Resultados de pruebas mecánicas de tensión en cables 1 y 2

Muestra	Carga de ruptura ( $kN$ )
Cable 1 (1)	84,4
Cable 1 (2)	91,2
<b>Desv. Std. Cable 1</b>	<b>4,8</b>
Cable 2 (1)	92,4
Cable 2 (2)	91,8
<b>Desv. Std. Cable 2</b>	<b>0,4</b>

## 5 Conclusiones

La falla súbita del cable 2 fue debida a fatiga. Los materiales luego de estar fatigados crean micro-grietas que reducen la capacidad de carga del material conllevando a ruptura repentina incluso bajo cargas menores a la resistencia nominal. Esta conclusión es sustentada por (i) la aparición de marcas de playa en los alambres de este cable (figura 5), (ii) el cambio de orientación de los granos en la microestructura cercana a la falla (figura 7) y finalmente, (iii) por la resistencia mecánica máxima de los cables que está bien por encima de la carga causante de la falla.

En el cable 1 no se encontraron indicios de fatiga. Este cable falló debido a la carga dinámica que soportó luego de la falla súbita del cable 2.

## Agradecimientos

Los autores agradecen de una manera especial al Laboratorio de Materiales de la Universidad EAFIT por su apoyo económico y al señor Carlos A. Restrepo por su invaluable aporte técnico durante la ejecución de este estudio.

## Referencias

- [1] ASM Handbook. *Failure Analysis and Prevention*, Edited by R.J. Shipley and W.T. Becker, ASM International, 11, 2002.
- [2] ASM Handbook. *Metallography and Microstructures*, Edited by G.F. Vander Voort, ASM International, 9, 2004.
- [3] J. R. Davis. *Tensile testing*, ASM International, 2nd Edition, 2004.
- [4] ASM Handbook. *Mechanical Testing and Evaluation*, Edited by H. Kuhn and D. Medlin, ASM International, 8, 2000.