

Técnicas de ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS aplicadas a la inspección de antorchas

Autores: Carlos Martín Díaz de Espada de La Línea Vertical y Miguel Ángel Parrón Vera de la Universidad de Cádiz

1. INTRODUCCIÓN

Las antorchas industriales son componentes mecánicos clave en el complejo sistema diseñado para una segura, fiable y eficiente descarga y combustión de hidrocarburos procedentes de las descargas de seguridad de las unidades de proceso de las plantas petroquímicas [1]. Por otro lado, podemos afirmar que estas instalaciones sufren importantes deterioros debido a las altas temperaturas, agresividad química de los gases que expulsan y condiciones climatológicas desfavorables. Ya que estarán permanentemente disponibles y operarán bajo cualquier situación de emergencia de la planta durante toda su vida útil proyectada, las antorchas serán inspeccionadas y mantenidas con regularidad. Por la criticidad de estos equipos, el tiempo disponible para su inspección suele ser muy escaso (4 o 5 días).

1.1 TIPOS DE ANTORCHAS

Las antorchas se clasifican en tres grupos principales [1, 2, 3]: elevadas (*elevated*), horizontales (*horizontal*) y de llama confinada (*enclosed-flame flares*). Nos centraremos en el primer grupo, el cual se subdivide a su vez en:

- I. Auto soportadas (*self-supported*), con menor área afectada, válidas para alturas hasta 76m y coste de fabricación bajo (Fig. 3).
- II. Sujetas mediante cables o vientos (*guyed wire supported*), mayor área de terreno afectada, alturas hasta 180m y coste de fabricación medio (Fig. 1 y 4).
- III. Sujetas a torre de estructura

metálica (*derrick supported*), fija (Fig. 5) o desmontable (Fig. 6). Poca área afectada, alturas de más de 200m y coste de fabricación alto. Mención aparte, aunque dentro de este grupo, habría que hacer a las antorchas de plataformas marítimas (*offshore flares*).



Fig. 1: Vista general de una antorcha típica fijada con vientos



Fig. 2: Trabajos en antorcha empleando grúas y canastillas, en combinación con técnicas verticales para inspección y engrase de vientos

1.2 PARTES PRINCIPALES DE LA ANTORCHA

Las antorchas se dividen en tres partes principales: sello, fuste y quemador.

El sello es la parte inferior, donde llega el gas; y cuando tiene suficiente presión vence una barrera de agua que lo retiene y asciende por el fuste hasta el quemador. El fuste, parte central de la antorcha, conecta sello y quemador, siendo de sección cilíndrica normalmente y con espesores de pared que suelen oscilar entre 20mm y 8mm. Por último, en el quemador se realiza la quema de los gases; para ello existe siempre una llama encendida (piloto), a la espera de una eventual descarga de gas procedente de la red a la que está conectada la antorcha.

1.3 NOMENCLATURA DE ZONAS PARA INSPECCIÓN

Tras la realización de cualquier inspección, una de las claves es identificar inequívocamente los posibles defectos encontrados en cada zona inspeccionada. Las antorchas tienen especial dificultad para ubicarlos, al ser muy similares los puntos de referencia; normalmente se opta por localizar defectos según orientación N-S-E-OE y cota respecto al suelo. Pero para las antorchas tipo II y III se puede también:

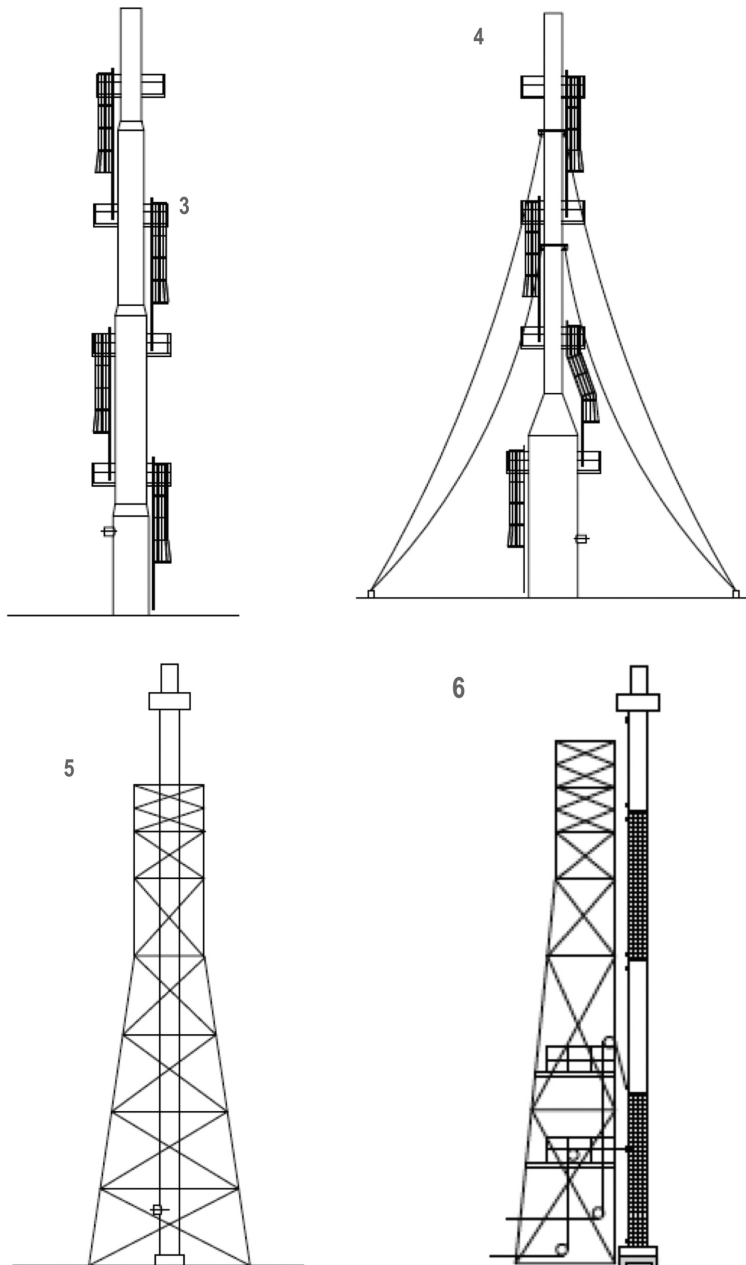
- Dividir la antorcha en zonas (1-2-3-4), coincidentes con las orientaciones de los cables (generalmente tres a 120°) o los pilares de la estructura de apoyo (generalmente cuatro a 90°).
- A partir de la brida principal de entrada de gases y en sentido horario, numerar cada orientación en 1, 2, 3...
- Desde el suelo hasta el *tip*, numerar cada nivel de anclajes (a vientos o estructura) correlativamente 1, 2, 3...
- Finalmente, asignar a cada anclaje dos dígitos, el primero indica orientación y el segundo nivel de anclaje, quedando por ejem-

2. SISTEMAS ACTUALES DE INSPECCIÓN, MEDIOS DE ACCESO

Las inspecciones en instalaciones tan particulares como chimeneas o antorchas se realizarán [4, 5, 6, 7] en base a sistemas preestablecidos y correctamente planeados (salvo inspecciones de urgencia tras fallos, accidentes, etc.); el motivo de planificar y estudiar los trabajos es doble: por un lado la limitada duración del tiempo de inspección (coincidirá con una parada programada generalmente) y por otro la gran dificultad de acceso, restringen igualmente los medios auxiliares utilizables. En la actualidad para el acceso de los inspectores a las antorchas se emplea alguno de los siguientes procedimientos:

- Acceso tradicional, a través de las escalas y plataformas existentes.
- Instalación de andamios tubulares alrededor de la antorcha.
- Empleo de técnicas de posicionamiento por cuerda [8].
- Uso de plataformas elevadoras telescópicas o canastillas izadas mediante grúa.

El acceso tradicional no tiene en principio especial dificultad, más allá de las propias de una instalación de gran altura muy sujeta a las inclemencias meteorológicas. De todas formas, al ser instalaciones de acceso muy poco frecuente (normalmente en paradas, cada 5 años), al menos un primer acceso debería realizarse por personal



Tipos de antorchas elevadas [6]

3- Autosoportadas

4- Fijadas con vientos

5- Sujeta con estructura metálica fija

6- Sujeta con estructura metálica desmontable

plo “anclaje 2-4” (el segundo en sentido horario desde la entrada de gas y el cuarto en altura). Este método permite sectorizar fácilmente la antorcha y evitar errores por empleo de brújulas en zonas con posibles interferencias por campos magnéticos (Fig.7).

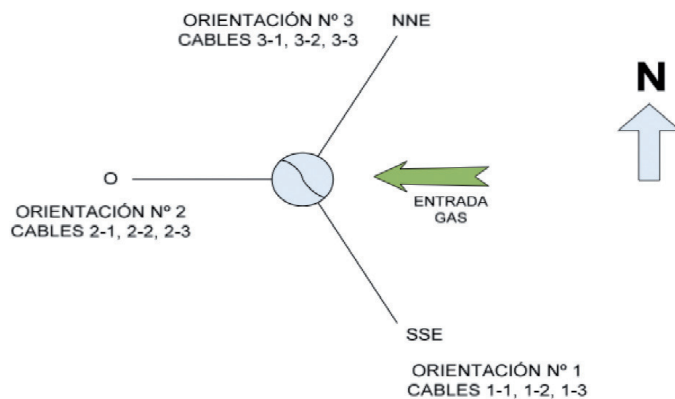


Fig. 7: Esquema en planta de nomenclatura de una antorcha con 9 vientos en 3 orientaciones y 3 niveles

especializado en rescate/evacuación e inspección visual, que confirmen el buen estado de escalas, plataformas y estructura, para dar paso al resto de técnicos END. El principal inconveniente de este acceso tradicional es la limitación de zonas a inspeccionar, solamente las accesibles desde escalas o plataformas, lo cual representa no más de un 40% de la instalación.

Los sistemas de andamios fijos resultan muy costosos y necesitan paradas prolongadas para realizar su montaje/desmontaje; en todo caso se emplean en antorchas pequeñas, de alturas no superiores a 40 metros, y que no dispongan de medios de acceso tradicionales. Su principal ventaja es que, una vez montados, la realización de los trabajos de inspección y posibles reparaciones es muy cómoda. Normalmente se instalan andamios tubulares en estos trabajos, rara vez plataformas colgadas o andamios suspendidos.

El acceso mediante técnicas de posicionamiento por cuerda (Fig. 2) tiene hoy en día un gran auge; los equipos de trabajo vertical, cada vez más avanzados y seguros, permiten a personal experto acceder con pocos medios y gran rapidez a cualquier zona de la antorcha. Es por tanto rapidez y versatilidad su principal ventaja, el inconveniente es la limitación de trabajos a realizar (no se pueden manejar grandes cargas), pero en el caso de aplicación de END resultan muy útiles. Su utilización, así como la de los andamios, está regulada por la directiva europea 2001-45-CE sobre “Trabajos temporales en Altura” [9], en línea con las exigencias de la Legislación en Prevención de Riesgos Laborales vigente [10] (directiva europea 89/391/CEE).

Las plataformas elevadoras con brazo telescópico [11] o canastillas izadas mediante grúas (Fig. 2) son especialmente útiles para la realización de operaciones de mantenimiento, por ejemplo cambio del quemador de la antorcha, cambio de plataformas metálicas o escalas de acceso, etc. En cambio, emplearlas para los END resulta muy caro, teniendo ciertas limitaciones de ubicación y alcance de la grúa por la

existencia de los vientos de la antorcha y en muchos casos, firmes irregulares alrededor del fuste.

En cualquiera de los supuestos mencionados hay que insistir en la importancia de que el inspector que realice los trabajos esté formado y certificado según la norma EN473 “*Ensayos no destructivos. Cualificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos. Principios generales*” [12], en el campo correspondiente.

3. SISTEMAS ACTUALES DE INSPECCIÓN, PRINCIPALES TÉCNICAS END

Dentro del amplio abanico de técnicas de Ensayos No Destructivos existentes, pueden destacarse como de mayor utilidad en las inspecciones de antorchas las siguientes:

- Inspección visual
- Inspección por técnica de ultrasonidos
- Análisis magneto inductivo de cables
- Medición de tensión de cables
- Realización de radiografías

3.1 INSPECCIÓN VISUAL

Es aplicada en la totalidad de la antorcha. Es recomendable disponer de plantillas preparadas al efecto, donde registrar tramo a tramo los defectos o detalles encontrados, con referencias a fotos y comentarios del inspector. Se debe realizar una inspección inicial de escalas y plataformas, con especial atención al estado de las protecciones colectivas (barandillas, suelos...); el resultado de esta inspección puede variar el planteamiento del resto de trabajos, ya que un mal estado de los medios de acceso podría incluso obligar a abortar el resto de la inspección. En cualquier caso, es recomendable no realizar otros END hasta que la inspección visual haya dado el visto bueno al acceso a las diferentes zonas de la antorcha. Superada esta primera fase, el siguiente punto crítico es la zona de quemadores o tip de la antorcha (Fig. 9). Son habituales los despen-

dimientos de refractario, que suelen provocar cambios de color en el metal que forma el quemador (por las altas temperaturas sufridas), siendo imprescindible una visión desde arriba (Figs. 8.1, 8.2), para detectar obturaciones de las salidas de gases, roturas y agrietamientos de las boquillas (Fig. 8.3) o defectos similares. Debido a la dificultad que supone la reparación in situ del tip (por complicación técnica, medios de acceso y tiempo disponible), muchas instalaciones poseen un segundo



Fig. 8.1: Vista superior de un quemador instalado, con refractario desprendido

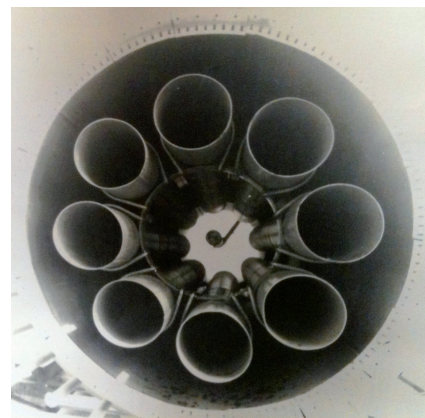


Fig. 8.2: Vista superior de un quemador nuevo

quemador idéntico al instalado, en perfecto estado; cuando la antorcha queda fuera de servicio, con auxilio de grúas, se cambia uno por otro para poder someter al que estaba en funcionamiento a un mantenimiento completo y dejarlo preparado para repetir la operación, a la inversa, en la siguiente parada.

El resto de zonas a analizar con de-



Fig. 8.3: Detalle de una boquilla dañada por altas temperaturas

tenimiento son las bridas de conexión entre tramos de fuste, los puntos de anclaje de vientos (tanto en antorcha como en suelo), las líneas de gas y vapor que ascienden hasta el quemador, el sello hidráulico y los botellones de recogida de condensados. En algunos diseños de antorcha es posible acceder al interior del fuste, lo cual es interesante para confirmar posible corrosión interna.

3.2 INSPECCIÓN POR TÉCNICA DE ULTRASONIDOS

Las técnicas de ultrasonidos se emplean para controlar los espesores

de pared remanentes, tanto en fuste como en las tuberías que llegan al quemador. Es habitual dividir el fuste en tres sectores coincidentes con los vientos, y realizar mediciones de espesor de pared cada metro; por su parte, las tuberías también suelen medirse cada metro y todos los codos; en ambos casos emplear técnicas de trabajo vertical permite acceder al 100% de las zonas de interés. Cuando se detecten valores anormalmente bajos en el fuste o cercanos al de retiro en tuberías, es recomendable profundizar en la inspección de la zona en cuestión mediante equipos de ultrasonidos con barrido, representación gráfica en pantalla y palpador angular, para ubicar con mayor precisión los posibles defectos y definir si son localizados o generalizados.

Cabe comentar que en aceros al carbono fabricados antes de la década de los 80 se han encontrado con relativa frecuencia valores bajos de espesor producidos por defectos de fabricación (inclusiones de material no metálico, que hacen rebotar la onda ultrasónica), que no deben confundirse con procesos de corrosión interna. Para ello, si no fuese posible una inspección visual interior del fuste, la realización de radiografías nos ayudaría a descubrir la verdadera causa y actuar en consecuencia.

3.3 ANÁLISIS MAGNETO INDUCTIVO DE CABLES

El análisis magneto inductivo de los vientos se basa en el método de magnetización del cable con imanes permanentes, instalando una cabeza magnética sobre el mismo y desplazándola longitudinalmente durante la prueba. Irregularidades tales como reducciones de área metálica (LMA) y defectos locales (LF) originan una redistribución del flujo magnético alrededor del cable, que es detectado por sensores de efecto Hall [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

Es recomendable realizar al menos dos pasadas de inspección con la cabeza magnética por cada cable (Fig.10), y disponer así de al menos dos ficheros de resultados por cable, para contrastar. Los criterios de rechazo se basan en el nivel de pérdida de sección media y la acumulación de defectos locales en una distancia concreta; al tratarse de cables estáticos para fijación de estructuras, si bien no existe una norma específica para ellos se aplican habitualmente los criterios de la EN12927-6 [20] o ISO4309 [21], existiendo además en España los de la UNE 58111-91 [22].

En cualquier caso una inspección visual previa de los cables es recomen-



Fig. 9: Detalle de la zona de quemadores (tip) de una antorcha



Fig. 10: Cabeza magnética para análisis magneto inductivo, desplazándose por cable de antorcha

dable, pudiendo así localizar posibles hilos rotos superficiales que dañarían el equipo. Tras la inspección y análisis de gráficas de resultados, si existe acumulación de defectos locales, siempre se debe confirmar visualmente el estado de la zona dañada.

3.4. MEDICIÓN DE TENSIÓN EN CABLES

Los vientos de la antorcha tendrán la tensión marcada en proyecto, admitiéndose como práctica habitual y en ausencia de otras indicaciones, un valor de tensión entorno al 10-12% de la carga de rotura del cable. La manera más cómoda de medir la tensión de estos cables instalados es mediante equipos dotados de células de carga, tras una previa calibración al diámetro y tipo de cable que nos ocupe. La modificación de los valores de tensión producirá inevitablemente variaciones en la verticalidad de la antorcha, que será también mantenida entre los valores recomendados (altura/1000 [23]) con ayuda de medios topográficos. No es recomendable realizar estos ensayos en paralelo con el resto, pues el tránsito de personas por la estructura modificará los valores de tensión y de verticalidad.

3.5 REALIZACIÓN DE RADIOGRAFÍAS

La gammagrafía industrial suele emplearse puntualmente como última comprobación de valores de espesor de fuste, cuando las mediciones de ultrasonidos hayan localizado zonas de bajos espesores, pero no generalizados a todo el fuste. Una radiografía, como se ha mencionado antes, despeja dudas sobre si los valores bajos se deben a defectos de fabricación del acero o si por el contrario nos encontramos ante una fuerte corrosión interna. Si la zona a radiografiar está fuera de pasarelas o escalas, deben extremarse las precauciones en el manejo de la fuente debido al riesgo de caída de la misma, siendo recomendable aplicar procedimientos específicos para manejo de fuentes radiactivas en altura [24]. Durante los trabajos de radiografía no se pueden

ejecutar otros trabajos, los accesos deben estar adecuadamente balizados y restringidos.

Otras técnicas de END como líquidos penetrantes o partículas magnéticas se emplean esporádicamente para detectar fisuras o grietas en zonas concretas de la antorcha sometidas a fuertes tensiones, como por ejemplo las soldaduras de las orejetas de anclaje de los extremos de los vientos.

La decisión de qué técnicas aplicar en cada caso particular así como la extensión de las mismas, dependerá de varios factores, a saber:

- Tiempo disponible para la inspección.
- Existencia o no de defectos previos, detectados visualmente (p.ej. fugas de vapor, cambio de coloración del acero en zona de quemadores) o fruto de inspecciones anteriores.
- Compatibilidad de las técnicas END para realizarse en paralelo (ver Tabla 1).
- Antigüedad de la antorcha.
- Presupuesto disponible.
- Trabajos de mantenimiento previstos.

4. CONCLUSIONES

Las antorchas serán inspeccionadas con regularidad para mantenerlas operativas y en condiciones de seguridad. Además del empleo de escalas y plataformas, existen varios procedimientos para acceso y realización de dichas inspecciones, principalmente los sistemas de andamios, las plataformas elevadoras o grúas con canastillas y el acceso mediante técnicas de posicionamiento por cuerda. Estas últimas permiten llegar al 100% de la antorcha así como reducción de riesgos, tiempos y costes de las mismas. En todos los casos el personal inspector deberá estar certificado conforme a EN ISO 9712:2012.

Las técnicas END más empleadas en la inspección de antorchas son las visuales, ultrasonidos, análisis de variación del flujo magnético y medición de la tensión de cables, en menor me-

didada radiografías, líquidos penetrantes o partículas magnéticas.

Ya que el tiempo disponible para la inspección de una antorcha suele estar muy limitado por la criticidad de estos equipos, la selección de los END aplicables requiere un detenido estudio previo donde considerar factores tales como tiempo disponible en parada, existencia de defectos previos y antigüedad de la antorcha. También hay que tener en cuenta la incompatibilidad de ciertas técnicas de ensayos entre sí, como queda reflejado en la Tabla 1, y destacar que todas ellas son muy sensibles a condiciones climatológicas adversas.

5. AGRADECIMIENTOS

Los equipos de Ensayos No Destructivos aquí mostrados son parte del proyecto de investigación ENDINFOR, cofinanciado por la Dirección General de Industria de la Secretaría General de Industria del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, expediente REI-050000-2009-22.

PARA SABER MÁS

- [1] API. "Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service". ANSI-API STD 537. 2nd Ed. Washington: API, 2008.
- [2] API. "Pressure relieving and depressuring systems". ANSI-API STD 521. 5th Ed. Washington: API, 2007.
- [3] Baukal Charles E. "The John Zink Combustion Handbook (Industrial Combustion)". Tulsa, Oklahoma: The John Zink Company, 2001. ISBN: 0-8493-2337-1
- [4] CICIND. "Manual for inspection and maintenance of brickwork and concrete chimneys". Londres: The Signal Press Ltd, 1993. ISBN 1-902998-08-1.
- [5] CICIND. "Chimney maintenance guide" [en línea]. Zurich: CICIND, 2006. Disponible en Web: < <http://www.cicind.org/EN/files/12-MAINTENANCE>

- NANCE-GUIDE.pdf>
- [6] CICIND. "A customer's guide for specifying chimneys". Hemel Hempstead, Herts: CICIND, 1990. ISBN: 1- 902998-05-7.
- [7] CICIND. "The CICIND Chimney Book, Industrial Chimneys of concrete or steel". Zurich: CICIND, 2005. ISBN: 3-00-017609-8
- [8] ANETVA. "Manual de Trabajos Verticales". Madrid: ANETVA, 2006. ISBN: 84-611-3678-0
- [9] Europe. "European Parliament and Council Directive 2001/45/EC concerning Minimum safety and health requirements for the use of work equipment by workers at work, Annex 4, Provisions concerning the use of work equipment provided for temporary work at a height", Official journal of the European Communities, 19 July 2001, núm.195, p48-49.
- [10] Europe. "European Parliament and Council Directive 89/391/EEC concerning Introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work", Official journal of the European Communities, 29 June 1989, núm.183, p1-8.
- [11] AENOR. "Plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP), Cálculos de diseño, criterios de estabilidad, construcción, seguridad, exámenes y ensayos". EN280. Madrid: AENOR 2002.
- [12] AENOR. "Ensayos no destructivos. Cualificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos". EN ISO 9712. Madrid: AENOR 2012
- [13] Sukhorukov V V, Shaparov I I. "Magnetic method for testing tower crane rope terminations: Problems and solutions". En: Proceedings of the OIPEEC Round Table Conference "Rope terminations and fittings". [s.n]. Bethlehem (USA) 2001. ISBN: 0-7049-2284-1. p.35-46
- [14] Sukhorukov V V, Volokhovskiy V Yu, Vorontsov A N. "Assessment of steel Rope strength based on non-destructive testing data". En: OIPEEC Bulletin núm82. p.27-33. University of Reading. [s.l.] 2001. ISSN 1018-8819
- [15] Sukhorukov V V. "Steel Wire Rope Inspection: New Instruments". En: 7th ECNDT. Copenhagen: [s.n.], 1998. ISBN: 87-986898-0-00
- [16] University of Reading. "Wire rope non-destructive testing – Survey of Instrument Manufactures". En: UK Health & Safety Executive. Offshore Technology Report OTO. 2000. [s.l.]: UK Health & Safety Executive, 2000. p.064
- [17] Sukhorukov V V. "Importancia de los ensayos no destructivos de cables". AEND. Julio 2009. N°49 p.28-36
- [18] Tytko A, Kwasniewsky J, Lankosz L. "Non-destructive testing of guy and suspension ropes", En: OIPEEC Technical Meeting, (Kraków, 1st September 1999). [s.n]. [s.l.] 1999. ISBN: 0-7049-1183-3.
- [19] ASTM. "Standard Practice for Electromagnetic Examination of Ferromagnetic Steel Wire Rope". ASTM E 1571-06. West Conshohocken: ASTM International, 2006.
- [20] AENOR. "Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas: Criterios de rechazo". EN 12927-6. Madrid: AENOR, 2006.
- [21] ISO. "Cranes, Wire ropes, Code of practice for care and maintenance, inspection and discard". ISO4309. Geneva: ISO, 2007.
- [22] AENOR. "Cables para aparatos de elevación; criterios de examen y sustitución de los cables". UNE 58111-91. Madrid: AENOR, 1991.
- [23] AENOR. "Eurocódigo parte 3. Diseño de estructuras metálicas. Torres, mástiles y chimeneas". EN 1993-3-2:2006. Madrid: AENOR, 2006.
- [24] Martín C. "Procedimiento específico para trabajo con manipulación de fuentes radiactivas en zonas de difícil acceso". Cádiz: FORMAL, 2009. 6p.

TÉCNICA END APLICADA	Nivel de Formación Inspectores	Coste de Equipos END	% Tiempo de la inspección (1)	Realizar otros END en paralelo	Coste final técnica END
VISUAL	BAJA	BAJO	15%	NO (2)	BAJO
ULTRASONIDOS	MEDIA	MEDIO	25%	SI	MEDIO
ANÁLISIS MAGNETO INDUCTIVO	ALTA	ALTO	35%	SI	ALTO
MEDICIÓN DE TENSIÓN	BAJA	MEDIO	20%	NO	MEDIO
GAMMAGRAFÍA	ALTA	ALTO	5%	NO	ALTO (3)
Observaciones	(1) Análisis aplicado a una antorcha tipo de 70m de altura y 12 vientos (2) Sólo se accederá a zonas de la antorcha cuando obtengan visto bueno visual (3) Suponemos que la zona a radiografiar no es accesible desde escala o plataforma				

Tabla 1: Resumen de características de técnicas END aplicadas a la inspección de antorchas