

Contribución a la restauración y el mantenimiento de obras de importancia histórica, cultural y social de la ciudad de La Habana

V. Herrera, F. Sendoya, H. Domínguez, Y. Suárez, D. Hernández, J. Griffith
Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)
victoria@ceaden.edu.cu

Resumen

Entre las aplicaciones de la Ciencia e Ingeniería de Materiales que realiza el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear CEADEN está el apoyo mediante varias técnicas físicas a la restauración y el mantenimiento de estructuras y objetos de la ciudad de La Habana que poseen interés histórico, cultural y social.

En el presente trabajo es abordado el campo de la Defectoscopía, en lo cual los Ensayos no destructivos aplicados contribuyeron a la restauración del patrimonio cultural, a la mejora de instalaciones deportivas de la capital y, en mayor medida, a la seguridad de instalaciones de interés social como son los parques de diversión. En ese sentido se presentan la inspección de estructuras en el marco de la restauración de la Sala Cabildo del Museo de la Ciudad de La Habana en el Palacio de los Capitanes Generales en La Habana Vieja; el diagnóstico de uniones soldadas durante la restauración de la iluminación y la instalación de la pantalla gigante del Estadio Latinoamericano del Cerro y la Inspección realizada sistemáticamente en mantenimiento a elementos críticos de equipos de los parques de diversión.

Palabras clave: ensayos no destructivos; recuperación biológica; objetos culturales; conservación; inspección.

Contribution to the restoration and maintenance of works of historical, cultural and social importance of the city of Havana

Abstract

Among the applications of Materials Science and Engineering carried out by the Center for Technological Applications and Nuclear Development (CEADEN) / Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear CEADEN is the use of various physical techniques to support the restoration and maintenance of buildings and other work objects of historical, cultural and social interest in Havana city.

The field of Defectoscopy is addressed in this paper, where the applied Nondestructive testings also contributed to restore the cultural heritage, to upgrade the structural conditions at an important sport facility in Havana, and in a greater extent, to the safety of facilities of social significance, such as amusement parks. In this regard, three examples are presented: the inspection of structures during the restoration of the City Hall in the Museum of the Havana City at the Palace of Captains General; the welded joints testing during the restoration of the lighting system and the installation of the digital screen at the Latin American Stadium in Cerro municipality; and finally, the inspection systematically performed at maintenance works to critical elements and related devices at amusement parks.

Key words: nondestructive testing; biological recovery; cultural objects; preservation; inspection.

Introducción

El conocimiento científico ya establecido debe ser aplicado lo antes posible a la satisfacción de las necesidades materiales y espirituales de la sociedad.

Una de las direcciones de aplicación de la Ciencia de Materiales que realiza el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN) es el apoyo mediante un grupo de técnicas físicas a la restauración

y el mantenimiento de estructuras y objetos de la ciudad de La Habana, entre otras localidades de Cuba, que poseen interés histórico, artístico y social.

Ensayos no destructivos y patrimonio cultural y social

La línea conocida como Defectoscopía ha cobrado un rápido y sostenido desarrollo, lo cual está relacionado con su papel, primeramente, no solo en la Seguridad

de las industrias nuclear y convencional, la construcción y mantenimiento de estructuras civiles y otras instalaciones de riesgo, sino además, para extenderse hasta áreas como la conservación y restauración de obras de arte y otros objetos valiosos para el patrimonio cultural, histórico y social de un país.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) promueve el uso de la tecnología de ensayos no destructivos con vistas a mantener las estrictas normas de control de calidad para la explotación segura de las instalaciones nucleares y otras instalaciones industriales. También ayuda a sus Estados Miembros a capacitar personal en la aplicación de la tecnología y proporciona el equipo necesario [1].

Entre las obras de interés social, los parques de diversión también presentan un riesgo intrínseco durante la explotación de sus equipos, no percibido adecuadamente en muchas ocasiones. En el mundo se producen no pocos accidentes en las atracciones [2-4]. Por tal motivo es necesario realizar controles con el objetivo de conocer mediante la utilización de diferentes técnicas el estado técnico de aquellos elementos denominados críticos, es decir, los que están relacionados directamente con la seguridad de los pasajeros [5].

Los llamados END están basados en diferentes principios físicos, que involucran la interacción con el objeto estudiado de radiaciones ionizantes, ondas no ionizantes, campos magnéticos, efectos de capilaridad, o bien, la propia observación visual.

Si bien existen cientos de métodos, los más comunes son la radiografía industrial, que utiliza rayos X de onda corta, rayos gamma y neutrones para penetrar materiales; la inspección por ultrasonido, que emplea vibraciones mecánicas; la inspección con líquidos penetrantes, que permite localizar defectos en la superficie de materiales no porosos y la inspección por partículas magnéticas, mediante la cual pueden detectarse discontinuidades superficiales y en regiones cercanas a la superficie de materiales ferromagnéticos.

En el presente trabajo se abordan las aplicaciones realizadas por el CEADEN en el campo de la Defectos-copia. En ese sentido se presentan: a) la inspección de estructuras en el marco de la restauración de la Sala del Cabildo del Palacio de los Capitanes Generales en La Habana Vieja; b) el diagnóstico de uniones soldadas realizadas durante la restauración de la iluminación y la instalación de la pantalla gigante del Estadio Latinoamericano del Cerro; c) la Inspección que se realiza sistemáticamente en mantenimiento a elementos críticos de los diferentes equipos de los parques de diversión que operan en la capital.

Toda la actividad realizada se inserta en el Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio de Materiales de acuerdo a la norma NC-ISO-IEC 17025 [6].

Materiales y métodos

a) Inspección de estructuras en el marco de la restauración de la Sala del Cabildo del Palacio de los Capitanes Generales en La Habana Vieja. Fue

realizado el diagnóstico mediante Inspección visual de conjuntos de planchas con uniones soldadas para conectar vigas de perfil en U (8 en total) para el techo de la Sala según la norma [7]. El nivel de calidad seleccionado fue el Nivel B.

b) Diagnóstico de uniones soldadas realizadas durante la restauración de la iluminación y la instalación de la pantalla gigante en el Estadio Latinoamericano del Cerro.

- Inspección visual y por líquidos penetrantes de los bastidores y torres de iluminación del Estadio

Fue realizada la revisión técnica de los bastidores y las torres de iluminación del Estadio Latinoamericano durante los trabajos de fabricación de estos componentes y durante su montaje, utilizando los ensayos de inspección visual de soldaduras y de líquidos penetrantes del tipo visible (figura 1).



Figura 1. Torre inspeccionada en la fase de instalación para la iluminación del Estadio Latinoamericano.

Tanto para la inspección de los bastidores y torres como para el montaje fue realizado un plan de muestreo de un 10 % para cada caso, el cual fue tomado de acuerdo con el cliente y grupo de proyecto.

Los criterios de aceptación para el método de inspección visual fueron aplicados según lo establecido en [7] para el Nivel B.

Durante la fabricación de los bastidores fueron inspeccionadas 276 uniones soldadas, mientras que para las torres fue inspeccionado un total de 101 uniones.

Durante las labores de montaje se inspeccionaron por el método visual 64 uniones soldadas.

Con la técnica de líquidos penetrantes del tipo visible y según los criterios establecidos en [8-9] fueron inspeccionadas uniones soldadas durante el proceso de fabricación de los bastidores y uniones soldadas de las pertenecientes a las torres.

- Inspección visual y por partículas magnetizables de uniones soldadas de los elementos de la estructura de soporte de pantalla gigante del Estadio.

Posteriormente, en la instalación de la pantalla gigante del Estadio Latinoamericano en 2018 (figura 2) fueron sometidas a Inspección visual 488 uniones soldadas de los elementos de la estructura de soporte de pantalla gigante según [7] y fue aplicado el Nivel B de calidad. Además, un número seleccionado fue analizado por el método de partículas magnetizables. También, se inspeccionaron 8 uniones de los pernos ciegos que están ubicados en la parte superior del soporte de hormigón.

En todos los casos las uniones señaladas fueron debidamente señalizadas para su posterior reparación, muchas de las cuales se realizaron al instante.

- c) Inspección de elementos críticos de equipos de parques de diversión.

Fue aplicada una metodología (PT-QM-05. Procedimiento Técnico para las inspecciones anuales en los parques de diversiones. Rev. 1/09. Laboratorio de Materiales. CEADEN (2009)), según la cual las atracciones en uso son inspeccionadas previa identificación de las partes y componentes que sean esenciales para un funcionamiento seguro. En el alcance se incluyen la inspección visual de los componentes críticos seleccionados tales como: ejes, pasadores, pernos, soldaduras, cables, cadenas y otros, definidos por el fabricante en la documentación técnica entregada para cada equipo. Se realiza el desmontaje de los mismos cuando lo requiera el libro de operaciones o el manual de funcionamiento o cuando se sospeche que existen irregularidades; la detección de deformaciones u otro tipo de deterioro en la estructura de la atracción; la conformidad de los sistemas de restricción de movimiento de los pasajeros en cuanto a funcionamiento e integridad; la inspección mediante ensayos no destructivos de las soldaduras, pernos, pasadores y uniones de carácter crítico así como las cadenas y cables metálicos presentes en los equipos. (H. Domínguez Marrero, F. Sendoya Puente, J. Griffith Pérez, J X, Sierra Trujillo, Y. Suárez Guerra, V. Herrera Palma, D. Hernández Torres y G. Carro Hernández "CONSOLIDACIÓN DEL SERVICIO DE INSPECCIÓN A ELEMENTOS CRÍTICOS DE EQUIPOS DE LOS

PARQUES DE DIVERSIONES EN FUNCIONAMIENTO. Informe de Resultado Premio de la AENTA al Servicio Científico Técnico. Laboratorio de Materiales CEADEN. Septiembre 2014.)

Principalmente fueron aplicados ensayos no destructivos in situ de inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnetizables, ultrasonido por el método de pulso-eco, control dimensional y cediación ultrasónica de espesor de componentes metálicos. En todos los trabajos la ejecución e interpretación de los resultados de los END fue realizada por parte de especialistas certificados de nivel 2 por la norma ISO 9712 [10]. También fueron utilizadas técnicas destructivas de análisis químico por emisión óptica y microscopía óptica, dirigidas fundamentalmente al control de entrada del material a emplear en la fabricación de piezas por el departamento de producción del CEADEN, cuya composición fuese compatible con los materiales originales. Igualmente se confirma el acabado superficial requerido de los componentes producidos mediante la medición de rugosidad por el parámetro Ra.

Otro método destructivo utilizado fue el ensayo de tracción para determinar resistencia mecánica de cadenas y cables.

Resultados

- a) Inspección de estructuras en el marco de la restauración de la Sala del Cabildo del Palacio de los Capitanes Generales en La Habana Vieja.

Del análisis realizado con las partes involucradas de los resultados de la inspección de las estructuras y sus uniones soldadas fue posible hallar las soluciones más factibles a los defectos encontrados. Se optó por desmontar las vigas que resultaron no conformes, cortarlas y soldarlas por el extremo contrario, teniendo en cuenta el daño sufrido por el material debido a los dos procesos consecutivos de soldadura.

Fue aconsejado también realizar los trabajos en posición horizontal para mayor comodidad del soldador y usar otro tipo de electrodo (E6013) que diera una resis-



Figura 2. Inspección END de estructuras para la pantalla gigante del Estadio Latinoamericano.

tencia acorde a lo proyectado y que al mismo tiempo, permitiera evitar mayor complejidad durante el proceso de soldadura. Fueron establecidos dos puntos de control del proceso para la re-inspección de las uniones.

- b) Diagnóstico de uniones soldadas realizadas durante la restauración de la iluminación y la instalación de la pantalla gigante en el Estadio Latinoamericano del Cerro
 - Inspección visual y por líquidos penetrantes de los bastidores y torres de iluminación del Estadio

En la primera inspección durante la fabricación de los bastidores fueron rechazadas el 8 % de las uniones realizadas, mientras que en las torres no fueron aprobadas el 16 %.

En la fase de montaje fueron rechazadas el 20 % del total de las uniones realizadas.

En todos los casos las uniones soldadas que fueron rechazadas por la inspección fueron reparadas y vueltas a inspeccionar con resultados satisfactorios. Fue necesaria una segunda reparación en solo 2 uniones.

Mediante el método de líquidos penetrantes tanto a bastidores como a torres solo fueron encontrados indicaciones que por sus pequeñas dimensiones no constituyen defectos.

- Inspección visual y por partículas magnetizables de uniones soldadas de los elementos de la estructura de soporte de pantalla gigante del Estadio

Fue analizado un total de 488 soldaduras. En todos los casos, las uniones con defectos fueron reparadas y reinspeccionadas con resultados satisfactorios. Las uniones de los pernos ciegos resultaron aceptables en todos los casos. Mediante el método de partículas magnetizables fue posible localizar oportunamente algunos casos de agrietamiento transversal.

- Inspección de elementos críticos de equipos de parques de diversión

Los resultados de los ensayos de laboratorio in situ, son presentados mediante informes técnicos que son entregados a la empresa encargada del mantenimiento con copias a las direcciones de los parques. En depen-

dencia de los resultados obtenidos se emiten dictámenes técnicos en los que son dadas alertas sobre la situación particular de cada equipo.

Del total de ensayos no destructivos realizados se tiene que el ensayo con mayor porcentaje de rechazos es el de inspección visual (7 % del total de rechazos), lo cual contribuye a la disminución de los gastos por inspección, al ser el de menor costo y ser la primera prueba que se realiza. El total de rechazos en todos los ensayos es de 10 %.

Algunos resultados de la actividad han sido:

- Rechazo de travesaños de la estructura por perforación por corrosión.
- Detección de ejes fracturados.
- Determinación de discontinuidades en pasadores y ejes. Se recomendó en estos casos su desmontaje, para una inspección más profunda (figura 3).
- Detección de defectos en uniones soldadas : grietas, poros (figura 4).
- Determinación de daños mecánicos en ejes y pasadores (figura 5) y su sustitución.
- Sustitución de pasadores por presentar rugosidad superior a la máxima permitida (1,6µm).
- Sustitución de cables de seguridad por presentar roturas de hilos.
- Corrosión en los cables de sujeción y se recomendó su sustitución en 6 meses.
- Determinación del tipo de acero en materia prima para la fabricación de piezas de repuesto.

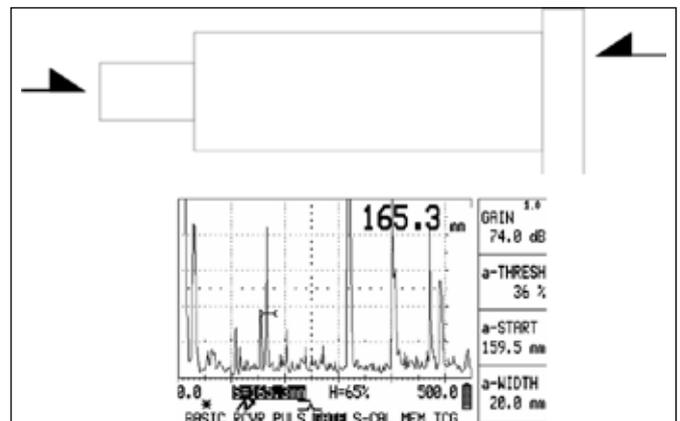


Figura 3. Indicación en el eje del lado Este del equipo Barco Pirata, lo cual pudiera suponer la presencia de una discontinuidad o defecto, la indicación aparece marcada a 165.3 mm desde la superficie de inspección.

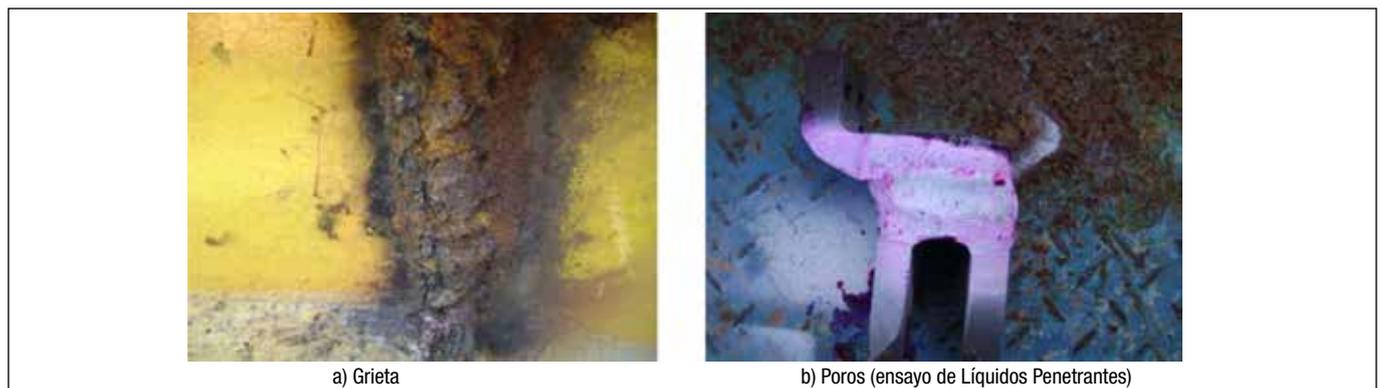


Figura 4. Defectos en uniones soldadas.



a) Daño Mecánico en eje

b) Desgaste en pasadores

Figura 5. Daños mecánicos en ejes y pasadores.

- Comprobación de la aptitud de los tanques de aire comprimido y sus accesorios en el sistema neumático de varios equipos (ej.: Platillo Volador, Pulpo Elefante, Dragón Bu). Recomendación de pruebas hidráulicas complementarias e Indicación de la salida de la explotación en casos de incumplimiento de los requisitos.
- Detección de desviaciones del proyecto original en algunas instalaciones como utilización de ruedas construidas con material no autorizado (Goma).
- Contribución a la formación de recursos humanos en la explotación de equipos de diversión mediante cursos especializados.

De esta manera, fue consolidado el servicio de inspección anual mediante diferentes técnicas de laboratorio e in situ, en los tres parques de procedencia china en funcionamiento (Mariposa, Isla de Coco, y Expocuba) y además en el Todo en Uno de Varadero. Quedó demostrado la necesidad de la realización de estas inspecciones, al menos una vez al año, como se establece en las normas internacionales para garantizar la explotación segura de estas instalaciones.

La realización de este servicio evidenció la necesidad de la elaboración de una norma cubana al efecto, para lo que fue constituido el Comité de Normalización Parques de Diversiones que tuvo a su cargo la confección de la norma NC 849 2011 MAQUINARIAS Y ESTRUCTURAS PARA PARQUES Y FERIAS DE ATRACCIONES – SEGURIDAD.

Conclusiones

Uno de los aportes de la Ciencia e Ingeniería de Materiales que se desarrolla en el CEADEN ha sido durante más de 20 años la prestación de servicios científico-técnicos especializados de alcance nacional.

Los Ensayos no destructivos aplicados tributaron a la restauración del patrimonio cultural, a la mejora de instalaciones deportivas de la capital y a la seguridad de instalaciones de interés social como son los parques de diversión.

Referencias

- [1]. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Otros ensayos no destructivos. <https://www.iaea.org/es/temas/otros-ensayos-no-destructivos> [consulta: abril, 2019].
- [2]. Amusement park accidents. https://en.wikipedia.org/wiki/Amusement_park_accidents [consulta: abril, 2019].
- [3]. Amusement Ride Safety. <http://www.iaapa.org/safety-and-advocacy/safety/amusement-ride-safety> [consulta: abril, 2019].
- [4]. IAAPA RIDE SAFETY REPORT – NORTH AMERICA – 2017 <http://www.iaapa.org/docs/default-source/default-document-library/2017-ride-incident-survey-report.pdf?sfvrsn=0> [consulta: abril, 2019].
- [5]. Safety of Amusement Machines and Amusement Park Equipments. Norma GB 8408-2000.
- [6]. Oficina Nacional de Normalización. Norma NC-ISO-IEC 17025: 2006 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- [7]. Uniones soldadas por fusión de acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluido el soldeo por haz de electrones). Niveles de calidad para las imperfecciones. Norma UNE EN ISO 5817-2004 .
- [8]. Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination. Norma ASTM E 165-02
- [9]. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section V. Nondestructive Examination (2010).
- [10]. Non-destructive testing - Qualification and certification of NDT personnel. Calificación y certificación de personal que realiza Ensayos No Destructivos. Norma ISO 9712:2012.

Recibido: 23 de abril de 2019

Aceptado: 31 de julio de 2019