

# Aspectos a considerar en la reparación de grietas en uniones soldadas de estructuras de atracciones mecánicas

## Aspects to be considered in the repair of cracks in welded joints of mechanical amusement structures

Mariano Andrés Castellanos Mendivelso \* y Diego Enrique Trespalacios Prada\*

Fecha de recepción: 27 de junio de 2018 Fecha de aceptación del artículo: 30 de noviembre de 2018

### Resumen

El movimiento y la aceleración son partes del atractivo de los parques de diversión por lo que sus estructuras están sometidas a cargas cíclicas.

Esta solicitud dinámica da lugar a la aparición y al crecimiento de grietas. La reparación de este tipo de anomalías mediante soldadura en la industria tiene asociado un temor mayormente causado por el desconocimiento de los procesos. Este artículo resume los pasos involucrados en el procedimiento de reparación como son la inspección, la detección, las consideraciones referentes a las variables involucradas en el procedimiento de soldadura la inspección posterior a la reparación la validación reinspección y el reporte.

Este artículo está encaminado a presentar de manera abreviada al lector interesado en la integridad de atracciones mecánicas, pautas y recomendaciones generales para las reparaciones de estructuras de acero mediante soldadura.

Palabras clave: Atracción mecánica, fatiga, reparación, soldadura.

### Abstract

The movement and acceleration are part of the attraction of amusement parks so their structures are subject to cyclical loads.

This dynamic solicitation gives rise to the appearance and growth of cracks. The repair of this type of mediating anomalies historically in the industry have associated a fear mostly caused by ignorance of the proper processes. This article summarizes the steps involved in this repair procedure, as they are the inspection and detection given the nature of the defect, the considerations related to the variables involved in the welding procedure, the inspection after the repair and the validation, the reinjection and the report.

This article is intended to present in an abbreviated manner the reader interested in the integrity of mechanical attractions, guidelines and General recommendations for repairing steel structures by welding.

Keywords: Mechanical attraction, fatigue, repair, welding.

\* Ingeniero Mecánico, Universidad Libre.

## Introducción

La reparación de elementos estructurales mediante soldadura es un método muy usado en la industria y que al igual que los demás métodos de reparación disponibles, debe asegurar su buen desempeño; pues tiene el potencial de causar afectaciones adicionales en la estructura que se intenta reparar si no es realizado correctamente; esto es especialmente relevante en aplicaciones como las de los parques de atracciones, donde el aumento de la probabilidad de falla genera un alto riesgo debido a las consecuencias directas sobre vidas humanas. Se hace necesario que este tipo de reparaciones se realicen siguiendo un proceso ordenado y lógico que esté acorde con las buenas prácticas y normativas aplicables.

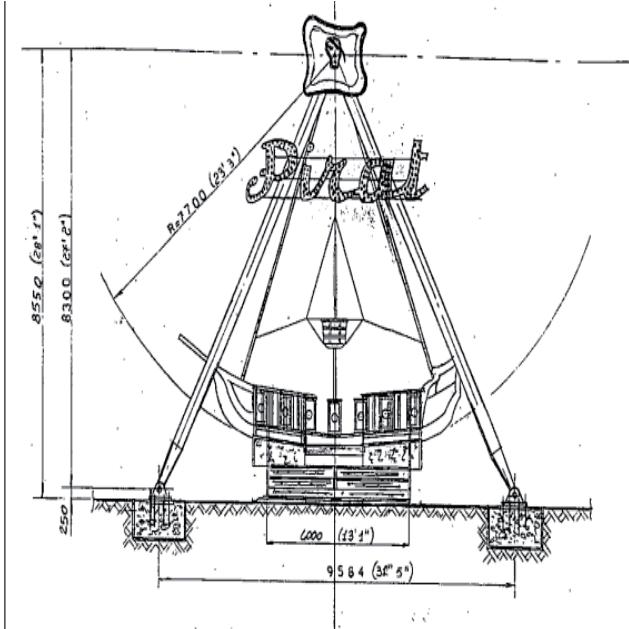
## Inspección y valoración de la estructura

### Frecuencias y puntos de inspección

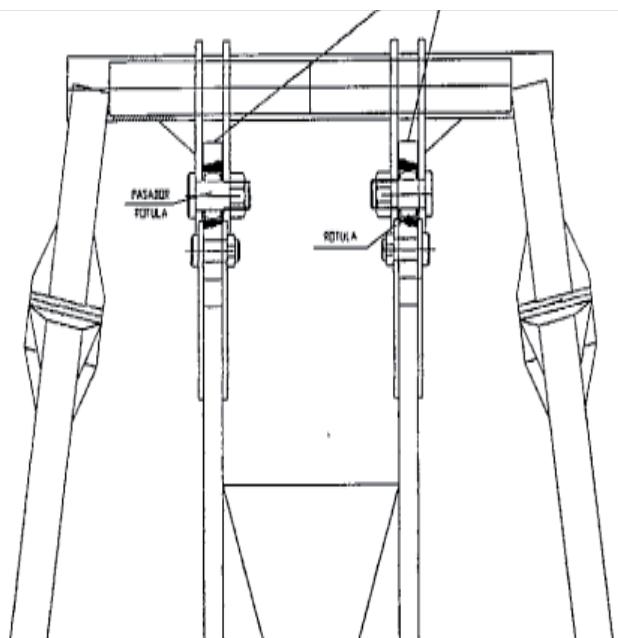
Toda estructura estará sometida a un proceso de deterioro como producto de su operación o a la degradación propia del material por lo que es necesario establecer controles que identifiquen anomalías y evaluar si son defectos que impidan la funcionalidad de la estructura. En Colombia la Ley 1225 del 2008, regula el funcionamiento de los parques de diversiones y contiene en su apartado número 4 los requisitos de operación y mantenimiento e inspecciones, de manera general menciona que deben respetar el diseño y ser establecidos por el fabricante; sin embargo, la mayoría de los manuales de fabricantes no cuentan con indicaciones referentes a las estructuras concentrándose en rutinas de lubricación y limpieza de componentes eléctricos, con lo cual la responsabilidad de la inspección y ensayos estructurales es trasladada al operador. Sin la guía del fabricante y existiendo como consecuencia un desconocimiento de cuales características fueron contempladas durante la etapa de diseño,

el establecimiento de frecuencias y puntos de inspección y valoración se hará con base en las condiciones operativas, los historiales de falla, las características del material, características de la solicitud dinámica y evaluaciones de aptitud para el servicio.

**Figura 1.** Barco pirata



**Figura 2.** Puntos de inspección Barco pirata.



## Registro y valoración

Establecidas las frecuencias y puntos de inspección e identificada una anomalía, se deberá registrar su ubicación características e información referente al personal de inspección, fecha, consecutivos y todo lo que pueda ser relevante de manera que se pueda llevar una trazabilidad. Posteriormente, se debe investigar las causas probables de la generación de la anomalía y generar un registro de dicha investigación. Hechos los registros correspondientes se procederá a evaluar la anomalía para determinar si la estructura puede seguir operando de manera segura, por cuánto tiempo puede operar y cuál es la mejor forma de repararla.

La valoración en el caso de los defectos tipo grieta es realizada a través de métodos de mecánica de fractura mediante los que se establece si la grieta puede resistir la solicitud de carga estática sin crecer de manera crítica incluyendo el cálculo de crecimiento en un proceso iterativo permitiendo establecer tiempos de atención ya sea que se decida reparar inmediatamente o mantener la estructura en funcionamiento, se debe controlar el crecimiento de la grieta. Por lo anterior un método de uso extendido es el de perforar agujeros en las puntas de la grieta esto con el fin de reducir la concentración de esfuerzo en esa zona y evitar así su crecimiento, este agujero debe ser de un tamaño específico de cada grieta para que prevenga el crecimiento, y se debe tener especial cuidado en hacer la perforación en la punta de la grieta, como esta no es fácilmente identificable a la vista, es recomendable hacer el agujero un poco por delante

**Figura 3.** Arresto de grieta con agujero.



Fuente: <http://alwayscicil.blogspot.com>

de la punta visible. El proceso de perforación puede inducir microgrietas que pueden ser semillas desde donde se bifurque la grieta y continúe creciendo, para evitar esto se puede expandir en frío el agujero con lo que se cierran las microgrietas e introducen esfuerzos compresivos que proveen un beneficio adicional.

La reparación debe tener en cuenta los códigos normativos aplicables. En el caso de las estructuras de atracciones mecánicas no existe un código específico, estas se rigen por los códigos aplicables a todas las estructuras metálicas con aplicación de soldaduras es el standard aws D1.1 Acorde con lo anterior, la reparación deberá realizarse con un procedimiento calificado y la persona que aplique la soldadura será calificada en el proceso específico evaluando su habilidad para realizar una soldadura sana manteniendo las variables esenciales del proceso. Para remover la grieta y para su inspección la norma da criterios de aceptación y recomendaciones generales, pero es necesario recurrir a guías específicas de asociaciones gubernamentales relacionadas al mantenimiento de infraestructuras o guías

**Figura 4.** Inspección con partículas magnéticas.



específicas del fabricante u operador para obtener procedimientos concretos. De manera general, se deberá retirar la grieta mediante el uso de pulidora dándole un perfil en U con ángulo de 20 grados y radio de 3/8", luego del pulido de enfriar la pieza se realiza una inspección visual y una inspección con partículas magnéticas posterior a la aplicación de la soldadura, es necesario volver a inspeccionar esta vez mediante ultrasonido, si se encuentran indicaciones relevantes se debe volver a pulir y a realizar el procedimiento, es recomendable no reparar más de dos veces dado el deterioro del material producto de los sucesivos ciclos térmicos.

### Procedimiento de soldadura

Tal como se mencionó antes se debe siempre realizar la soldadura con un procedimiento calificado específico de la aplicación. A continuación, se listan aspectos a tener en cuenta en el diseño del procedimiento: usualmente las estructuras de atracciones mecánicas son construidas con aceros estructurales de bajo carbono los cuales tienen buena soldabilidad estos pertenecen al grupo 1 según la clasificación de materiales AWS, sin embargo algunos de los aceros comúnmente utilizados son fabricados en el límite superior del medio carbono por lo que se deben tener precauciones respecto a la entrada de calor para evitar la fragilización en consecuencia variables de proceso como el amperaje/diámetro del electrodo, velocidad de avance y procesos que reduzcan los diferenciales en los enfriamientos como el postcalentamiento y precalentamiento deben ser tenidos en cuenta.

Para la reparación se realiza un relleno que corresponde a una junta en U este diseño facilita el acceso del electrodo y ángulos suavizados que garantizan la penetración.

Para prevenir el agrietamiento por hidrógeno es recomendable utilizar electrodos de bajo hidrógeno con la premisa de mantenerlos secos y sacarlos del horno a un porta electrodo, es recomendable usar en los primeros pasos electrodos de 3/32", luego un

electrodo de mayor diámetro con múltiples pasos y con oscilación en la aplicación; el objetivo es disminuir el aporte de calor y prevenir los pasos anteriores con los subsecuentes mejorando las propiedades en la zona de fusión manteniendo una zona afectada por el calor lo más reducida posible, se debe mantener control de la humedad es muy importante para el tipo de solicitud de carga por el tipo de aplicación que no se genere agrietamiento por el proceso.

Para lo anterior, se especifica un precalentamiento de 150°C manteniendo una temperatura entre pasos de 200°C y terminando el proceso de manera continua, esta soldadura iniciada debe terminarse el mismo día.

Detalles como los anteriores pueden parecer simples pero tienen grandes repercusiones y la decisión del aplicarlas o no es responsabilidad de quién diseña el procedimiento ya que se debe mantener un balance entre conveniencia aplicabilidad y economía.

### Conclusiones

Siempre que se realice una reparación con soldadura se deberá hacer con un procedimiento ordenado y diseñado específicamente para dicha reparación considerando el diseño de la pieza, el material, el historial de falla y reparación, y las condiciones ambientales asociadas realizando los registros adecuados y efectuando los ensayos no destructivos durante todo el proceso garantizando la calidad del proceso.

Debido a los ciclos térmicos y al estricto control que se debe tener en todos los pasos del proceso, si por diseño la efectividad de la reparación se considerase incierta se debe propender al reemplazo total de la pieza.

### Agradecimiento

Gracias al ingeniero Pablo Stevenson Díaz.  
Departamento de mantenimiento Playland.

## Referencias bibliográficas

- Anderson, T. L. (2005). Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications. Third Edition.
- American Welding Society, D1.1. (2015). Structural welding code- Steel, 119-179, AWS.
- API 579 Fitness For Service. (2009). The Procedure Handbook of Arc Welding, 14th Edition. 2000 Lincoln. (1962).
- Lippold, J. C. y J. K. D. (2005). Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels. Third Edition.
- Seferian, D. (1962). The Metallurgy of Welding. AWS D1.1/D1.1M:2015 Structural