

## Ensayo de impedancia eléctrica para sistema durmiente/fijación.

### Credenciales:

1. Ensayo de impedancia eléctrica para sistema durmiente/fijaciones
2. Sleeper/Fastening electrical impedance test

### Palabras claves:

1. Propiedades eléctricas, impedancia, vía, durmiente, sistema de fijación.
2. Electrical properties, impedance, railway track, sleeper, Fastening System.

### Resumen

1. En vías de ferrocarril expuestas a condiciones ambientales de humedad, la resistencia eléctrica del conjunto formado por un durmiente y su sistema de fijación es un parámetro importante para tener en cuenta. Esto es así ya que los rieles actúan como conductores eléctricos en los sistemas de señalización y/o tracción y una resistencia eléctrica inapropiada puede causar problemas y mal funcionamiento. En esta primera parte se analizará el origen de este requerimiento, los condicionantes en vía y la normativa existente. Una segunda parte cubrirá los ensayos.
2. The electrical resistance of the sleeper-fastening system in a wet Railway Track is a very important parameter to consider. This is because the rails are electric conductors in the circuit of signalling and traction and, an inappropriate electric resistance may be the cause of many trouble and malfunction. In this first part, it will be studied the origin of the requirement, the conditions in the track and the standard allowable. A second part will cover the test.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Ensayo de impedancia eléctrica para sistema durmiente/fijación.....                                    | 1  |
| Credenciales:.....   | 1  |
| Introducción.....  | 3  |
| Requisitos por señalamiento .....  | 3  |
| Requisitos por tracción eléctrica .....  | 4  |
| Principio del ensayo de impedancia en durmientes/fijaciones.....                                       | 4  |
| Normativa .....  | 4  |
| Norma europea, EN 13146-5: 2017 “Determinación de la resistencia eléctrica” .....                      | 4  |
| AREMA. TEST 7: Fastener electrical impedance test. Chapter 30. 2022 .....                              | 6  |
| Norma Australiana. AS 1085.19-2013 Railway track material Part 19: Resilient Fastening Assemblies..... | 8  |
| Resumen de requisitos.....   | 10 |
| Recomendaciones.....   | 10 |
| Conclusión.....  | 10 |
| Informe de ensayo .....  | 10 |
| Normativa complementaria y referencias.....  | 11 |

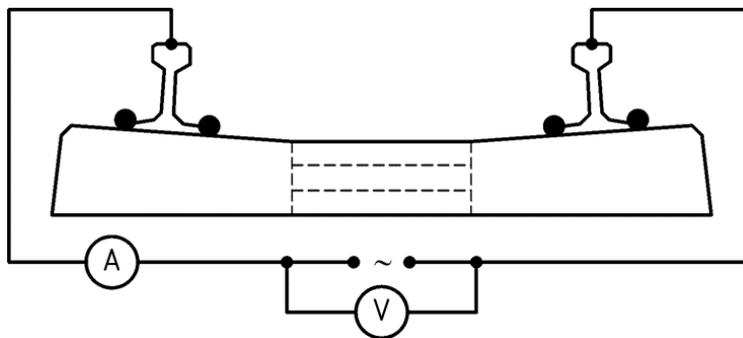
## Introducción

Aunque en condiciones favorables el durmiente y sistema de fijación son mayormente aislantes y permiten el correcto funcionamiento de los sistemas de señalamiento y/o tracción, en condiciones de lluvia, alta humedad relativa, condensación de humedad, los valores de resistencia eléctrica pueden ser críticos.

Es por ello que en el diseño de estos sistemas se tiene en cuenta la resistencia eléctrica (o impedancia para corriente alterna) para el correcto funcionamiento de los sistemas de señalamiento y/o tracción.

Los requerimientos son variados dependiendo de la tecnología de señalamiento, el material rodante, el tipo y voltaje de electrificación, etc. De todos estos condicionantes, el diseño debe cubrir al de mayor exigencia.

La resistencia eléctrica que finalmente importa es la que se mide en vía y la misma tiene en cuenta no sólo la resistencia del conjunto durmiente-fijación, sino también a los demás elementos de la plataforma de vía (balasto) en un tramo determinado, por ejemplo, de 305 metros (1000 pies) o 1000mts. Por este motivo, en condiciones de vía donde existe balasto colmatado y contaminado, con capas que sobrepasan la altura del durmiente y quedan en contacto con los rieles, la resistencia eléctrica de este nuevo componente pasa a formar parte determinante del sistema.



Circuito de medición

## Requisitos por señalamiento

Un estándar de resistencia eléctrica para el correcto funcionamiento de los sistemas de señalamiento es entre 2 y 3Ω/km (algunas Administraciones piden 1.5Ω/Km, algunos equipos de control de tráfico de trenes piden 2Ω/Km para un óptimo rendimiento de la longitud del circuito<sup>1</sup>). Este requisito de resistencia por kilómetro también se conoce como impedancia de balasto, resistencia de balasto.

De esta manera, teniendo en cuenta que para trocha ancha en Argentina se colocan 1666 durmientes/km y que estas resistencias estarán en paralelo, esto genera:

$$R_t = \frac{1}{\sum_{i=1}^{1666} \frac{1}{r_i}}$$

R<sub>t</sub>= resistencia total del tramo, 1km.

r<sub>i</sub>= resistencia del elemento individual. Considerando durmiente y fijación como un sistema que será constante para todos los elementos del tramo.

Así, para obtener una R<sub>t</sub> de 3Ω, la resistencia mínima individual r<sub>i</sub> del sistema durmiente-fijación deberá ser de 4998Ω. De la misma manera, para R<sub>t</sub> de 2Ω el valor de r<sub>i</sub> será de 3332Ω.

Las distintas normativas consideran un valor diferente para la resistencia del sistema durmiente-fijación, así como también los lineamientos del ensayo varían.

## Requisitos por tracción eléctrica

Los ferrocarriles con tracción eléctrica pueden tener suministro de corriente continua o corriente alterna. Dependiendo el tipo, serán conceptualmente diferentes los requerimientos de aislación.

Así, por ejemplo, para sistemas con corriente continua es recomendación que estén perfectamente aislados de tierra, ya que la corriente continua tiene alto poder de corrosión eléctrica a través de las corrientes vagabundas. Esto representa una amenaza para las estructuras y fundaciones metálicas aledañas a la vía.

Por el contrario, en tracción eléctrica con corriente alterna, la vía se encuentra conectada a tierra a través de puestas a tierra especialmente diseñadas, evitando así que, en condiciones de fallas, las corrientes de retorno puedan generar perjuicios a la integridad físicas de las personas circundantes a la vía o al material rodante a través de las tensiones de paso y contacto.

## Principio del ensayo de impedancia en durmientes/fijaciones

El ensayo consiste en montar dos cupones de riel sobre el durmiente y su fijación, humedecerlo en condiciones controladas y medir el pasaje de corriente a través del sistema según esquema.

## Normativa

Repasamos la normativa existente que apunta controlar el sistema durmiente/fijación.

Se describen tres cuerpos normativos que tratan el ensayo: norma europea, norteamericana y australiana. Otras normativas, como IRAM, especificaciones de ADIF España, etc, citan a estas normas para sus lineamientos.

## Norma europea, EN 13146-5: 2017 “Determinación de la resistencia eléctrica”.

El principio del ensayo es medir la resistencia eléctrica entre dos cupones de riel fijados al durmiente mientras se rocía con agua a ritmo controlado. Tiene aplicación para las corrientes de señalamiento y no para corrientes de tracción. La norma incluye vía en placa y carril embebido que no será estudiado en este informe.

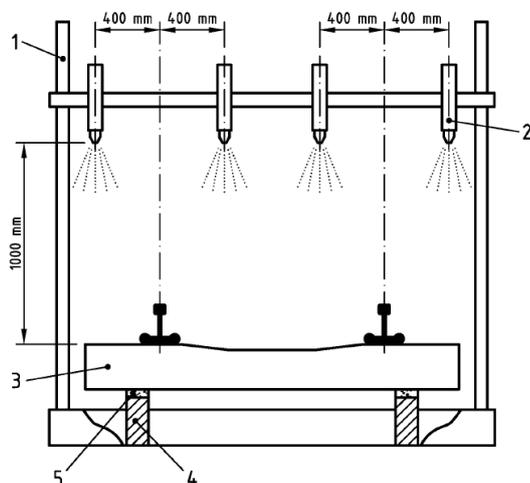
## Elementos para el ensayo

- Cupón de riel de 0,5m según tipología de diseño. El riel no debe tener restos de óxido ni estar pulido.
- Agua potable de conductividad de  $(50\pm 5)$  mS/m con corrección a 25°. Se permite la corrección añadiendo cloruro sódico o agua destilada.
- Rociador móvil con 4 boquillas de 3,6mm de diámetro y cono de rociado de  $(100^\circ$  a  $125^\circ)$  con control de medición del caudal de agua en cada boquilla.
- Fuente para suministro de electricidad: corriente alterna  $(30\pm 3)$  V RMS y  $(50\pm 15)$  Hz.
- Instrumento para medir tensión aplicada y flujo de corriente entre rieles con precisión de 1% para cálculo de resistencia en intervalo de  $1 \times 10^2 \Omega$  a  $1 \times 10^6 \Omega$ .
- Tres probetas (durmientes) de sólo dos rieles.

## Procedimiento

- Se apoya el durmiente sobre bloques de aislamiento eléctrico (no madera).
- Se conectan los instrumentos de medición y el suministro de corriente.
- Se rocía agua  $(10$  a  $20)^\circ\text{C}$  a razón de  $(7\pm 1)$  l/min en cada boquilla durante 2 minutos. El recinto debe estar cubierto y protegido de la lluvia y de las corrientes de aire, ventilado y con temperatura ambiente de entre 15-30 °C.
- Si el durmiente no fue utilizado anteriormente para este ensayo se deja durante más de 24hs o hasta que la superficie esté seca para poder utilizarlo.

- Se registra la tensión y la corriente durante el rociado y al menos durante los 10 min que siguen al final del rociado.
- Se repite el ensayo dos veces más sobre otras probetas. Para usar la misma probeta, se deja secar no menos de 120h y se repite el ensayo de nuevo.



### Cálculo

Para cada ensayo se determina la resistencia mínima  $R_x$  a partir del diagrama resistencia-tiempo  $\Omega/\text{min}$ .

El resultado del ensayo  $R$  es la media aritmética de los tres valores obtenidos  $R_x$

### Resultados

Acorde a EN 13481-2 :2017 el valor mínimo para el aislamiento eléctrico es de  $5k\Omega$ .

## AREMA. TEST 7: Fastener electrical impedance test. Chapter 30. 2022

El principio del ensayo es la determinación de la capacidad del durmiente y el sistema de fijación para resistir la conducción de corriente eléctrica bajo condición húmeda.

### *Elementos para el ensayo*

- Cupón de riel de 0,5m según tipología de diseño.
- Agua potable que al comienzo del ensayo tenga un valor de resistividad de entre 1000 y 1500 ohms-cm. Alternativamente, se podrá medir la conductividad y el valor deberá estar entre 67 y 100 mS/m.
- Fuente para suministro de electricidad de 10volts corriente alterna 60Hertz.
- Instrumento para medir tensión aplicada y flujo de corriente entre rieles.
- Un durmiente de dos rieles con sistema de fijación.

### *Procedimiento*

- Un sistema compuesto por dos cupones de riel montados en un durmiente con el sistema de fijación debe ser sumergido en agua por al menos 6hs.
- Retirar el sistema durmiente-fijación-cupón del agua y dentro de una hora completar el ensayo a temperatura ambiente en ambiente cubierto.
- Conectar la fuente y los instrumentos.
- Aplicar 10volts de corriente alterna 60-Hertz entre los dos rieles por 15 minutos.
- Medir flujo de corriente entre los dos rieles.
- Calcular la impedancia dividiendo los 10 volts aplicados por la corriente de flujo en amperes.

### *Resultados*

La impedancia mínima deberá ser de  $20000\Omega$  (2022).

En versión 2017 el requerimiento fue de  $10000\Omega$ .



Esquema de durmiente sumergido.



Esquema conexión de fuente

## Norma Australiana. AS 1085.19-2013 Railway track material Part 19: Resilient Fastening Assemblies.

La normativa australiana referida a los requerimientos de aislación eléctrica para el sistema durmiente fijación está compuesta por la norma de fijaciones propiamente dicha (AS 1085.19) y la norma de durmientes (AS 1085.14) donde, en esta última, se especifica la condición de compatibilidad.

La norma AS 1085.19:2013 establece en el apéndice C, sección C4, el ensayo de impedancia eléctrica en condición húmeda. El principio del ensayo es la determinación de la resistencia eléctrica del sistema durmiente fijación. El método está basado en la norma 13146-5.

### *Elementos para el ensayo*

- Un durmiente de hormigón pretensado.
- Seis juegos de fijaciones (dos juegos equivalen a un durmiente).
- Cupón de riel según tipología de diseño a condición nuevo.
- Agua potable de conductividad conocida entre 20-80 mS/m a temperatura entre 10-20°C. El método corrige la conductividad para usar de referencia 33mS/m ( $R_{33}$ )
- Equipo de rociado con boquillas de diámetro 3.6mm y cono aspersor a 100-125° de inclinación.
- Soporte aislante de espesor mayor a 50mm capaz de soportar el durmiente.
- Fuente para provisión de corriente alterna en el rango de 10-40 Volt a 50Hz o 60Hz de frecuencia nominal.
- Instrumento para medir la tensión aplicada y la impedancia hasta 100kΩ con precisión de 95 por ciento. Debe poder guardar registro de la medición de impedancia a través del tiempo.

### *Procedimiento*

- Realizar en ensayo en un ambiente protegido de lluvia e inundaciones, ventilado y a temperatura entre 15°C y 30°C.
- Si el durmiente no fue utilizado previamente para este ensayo, aplicar rociado de 2 minutos y dejar secar 15h o hasta que la superficie se encuentre seca.
- Conectar los instrumentos y la fuente de energía.
- Rociar con agua a ritmo de 8L/min en cada rociador durante 2 minutos.
- Registrar la impedancia durante el rociado y por lo menos 10 minutos después de finalizar el mismo.
- Repetir el ensayo con dos pares nuevos de fijaciones. Si se utiliza el mismo durmiente, se deberá esperar 15 hs o el tiempo para el que la superficie del durmiente se encuentre seca.

### *Cálculos*

Determinar la medida de impedancia mínima  $R_c$  durante el tiempo de registro de cada ensayo.

Calcular la impedancia corregida, en ohms según:

$$R_{\text{corregida}} = K_c \cdot R_c = 0.03 \cdot C \cdot R_c$$

C= conductividad del agua utilizada, en mS/m

### *Resultados*

Bajo este método la impedancia debe ser mayor  $4000\Omega$ .

### *Requisito de compatibilidad. Norma AS 1085.14: 2019.*

La norma de durmientes monobloque de hormigón pretensado cuenta también con una sección referida a la resistencia eléctrica, en este caso, del durmiente solamente. La descripción está en el Apéndice M "Electrical short test", ensayo de cortocircuito.

El principio del ensayo es medir la impedancia del durmiente entre los insertos en los apoyos del riel.

### *Elementos para el ensayo*

- Un durmiente de hormigón pretensado.
- Fuente de 12V en corriente continua o alterna, 50Hz en este segundo caso.
- Dos medidores calibrados para medir la impedancia con una precisión mayor del 95%.

### *Procedimiento*

- Realizar el ensayo inicial cuando el durmiente a menos de 24 hs de retirado el durmiente del molde. Alternativamente a los 28 días si está especificado.
- Los dos insertos de cada apoyo de riel deben ser conectados eléctricamente utilizando la fuente de 12V

### *Resultados*

Los resultados están especificados en sección de compatibilidad con el sistema de vía. Así, para cumplir el requisito de señalamiento, la impedancia debe ser mayor a  $30\Omega$  a 24 hs de removido el durmiente del molde. Si la medición arroja un valor menor, se deberá realizar el ensayo a 28 días y obtener una impedancia mayor a  $200\Omega$ .

## Resumen de requisitos

| Norma                    | Tensión | Voltaje      | Frecuencia | Agua                               | Valor mín          |
|--------------------------|---------|--------------|------------|------------------------------------|--------------------|
| (EUR) EN 13146-5. 2012   | AC      | 30±3<br>Vrms | 50±15 Hz   | 50±5 mS/m                          | 5kΩ (13481-2:2017) |
| (USA) AREMA Test 7. 2017 | AC      | 10 Volt      | 60Hz       | 1000-1500 Ohms-<br>cm o 67-100mS/m | 20kΩ (2022)        |
| (AUS) AS 1085.19-2013    | AC      | 10-40V       | 50Hz       | 20-80mS/m                          | 4kΩ (2013)         |

## Recomendaciones

1. Seleccionar el sistema de fijación adecuado, diseñado para la resistencia eléctrica necesaria.
2. Mantenimiento de vía. Respetar el perfil de balasto según NTVO N°2, según Art. 3 “Perfiles entre rieles de una misma vía”. Entre los rieles de una misma vía, el nivel superior del balasto debe quedar al ras del nivel superior de los durmientes, así evitar que la contaminación del balasto pueda hacer contacto con los rieles.
3. En el diseño del durmiente, evitar el contacto de armaduras activas y pasivas con los insertos de fijaciones, especialmente en los insertos metálicos.
4. Controlar la porosidad del hormigón, dado que la superficie porosa absorbe mayor humedad y facilita la conductividad.
5. En caso significativo, verificar la conductividad del agua que humedecerá el sistema para diseñar según esta condición.
6. En pasos a nivel verificar la aislación de los componentes intermedios.
7. Realizar el ensayo en la etapa de aprobación de prototipo para todo tipo de durmiente. (Initial qualification)

## Conclusión

Existe un amplio rango de requisitos y valores según cada cuerpo normativo por lo que el proyectista deberá ser consistente con la normativa que impera en todo el sistema ferroviario y seguir esa línea.

Asimismo, es necesario tener conocimiento del sistema de señalamiento y tracción para cubrir los requisitos de estos sistemas.

El valor de la norma europea (5kΩ) exigido al sistema durmiente-fijación, representa un valor de resistencia total de tramo  $R_t$  de 3Ω, valor próximo al recomendado para los sistemas de señalamiento. Este ensayo no tiene en cuenta el posible aporte de conductividad del balasto colmatado en contacto con los rieles y otros elementos de fijación como en los pasos a nivel.

En Argentina, los ensayos sobre durmientes se hacen bajo lineamientos de normativa norteamericana y los ensayos a las fijaciones bajo normativa europea. Asimismo, el ensayo de impedancia eléctrica se encuentra en la normativa de durmientes y sigue los requerimientos de la norma norteamericana.

En todos los casos se deberá medir la Resistencia Total del Tramo para verificar los valores de diseño y/o ajustar sistemas de señalamiento.

## Informe de ensayo

El informe deberá contar con:

- Norma aplicada. Nombre, versión.
- Laboratorio de ensayo.
- Fecha de ensayo.
- Procedimiento llevado a cabo.

- Descripción de fijación y componentes utilizados.
- Origen y datos del durmiente.
- Tipo de riel.
- Conductividad del agua empleada y temperatura al momento de realizar ensayo.
- Diagrama de resistencia-tiempo.
- Resultado del ensayo en  $\Omega$ .

#### Normativa complementaria y referencias.

- <sup>1</sup>: STDS AF. Alstom.
- EN 27888, Calidad del agua. Determinación de la conductividad eléctrica (ISO 7888:1985)
- -EN 50122-1. Electrical safety, earthing and the return circuit Protective provisions against electric shock.
- -EN 50122-2. Electrical safety, earthing and the return circuit Provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems.
- EN 13481-1. Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de sujeción. Parte 1. Definiciones.
- Trackside products. Alstom
- Siemens mobility. TCM 100. Datos técnicos
- Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados. Kiessling/Puschmann/ Schmieder / Vega. Siemens