

ESTUDIO SOBRE CORRIENTES VAGABUNDAS EN LAS INSTALACIONES FERROVIARIAS

INDICE

1. Introducción
2. Corrientes vagabundas
3. Conductancia de los carriles respecto a tierra
4. Determinación de la conductancia por unidad de longitud
 - 4.1. Vía en placa
 - 4.2. Vía tranviaria sobre resina aislante
 - 4.3. Vía sobre balasto
 - 4.4. Comprobación de valores de conductancia obtenidos
5. Evaluación de las corrientes vagabundas
6. Recomendaciones
 - 6.1. Instalaciones de vía
 - 6.2. Interconexiones eléctricas con los carriles
7. Distribución de corrientes vagabundas a lo largo de la vía

1. Introducción

Se analiza en este apartado la circulación de corrientes vagabundas, especialmente en corriente continua, así como los distintos parámetros que intervienen en su formación. .

2. Corrientes vagabundas

De acuerdo con la norma EN 50.122-2, Aplicaciones Ferroviarias, Instalaciones Fijas. Parte 2: Medidas de protección contra los efectos de las corrientes vagabundas producidas por los sistemas de tracción de corriente continua, se define la corriente vagabunda, como una corriente que circula por un recorrido distinto al previsto.

En un sistema de tracción ferroviaria mediante corriente continua, la corriente sale de la subestación por medio de la instalación aérea, denominada generalmente catenaria, en sus distintas configuraciones, llegando al pantógrafo del tren. El circuito eléctrico se cierra cuando después de pasar la corriente por los motores, llega a los carriles, y circula por ellos hasta alcanzar de nuevo la subestación de donde salió.

El circuito eléctrico descrito no es perfecto, ya que su aislamiento con respecto a otros sistemas y a tierra no es infinito, y por tanto hay una parte de la corriente que circula por otros caminos que no son los inicialmente establecidos.

- a) Instalación aérea situada antes de llegar al tren: La instalación aérea se sujeta a las estructuras metálicas o a las de túnel mediante aisladores. Estos aisladores tienen una elevada capacidad de aislamiento, pero no es infinita y por cada uno de ellos se derivará una pequeña parte de la corriente que no pasará por los motores del tren, sino que a través de diversos caminos volverá al negativo del rectificador de la misma subestación de donde salió y no de otra. Un valor estimado de la capacidad de aislamiento de cada uno de los elementos de sujeción puede ser del orden de 500 Mohmios. Sin embargo al existir un elemento aislante cada cierta distancia y por cada vía obtendremos un valor total de corriente que será la suma de todas. Un valor típico de la corriente que se deriva a tierra por kilómetro, en este supuesto, es del orden de 1 a 5 mA, valor que no es necesario tener en consideración.
- b) Instalación de retorno: La corriente una vez que ha pasado por los motores del tren, regresa a la subestación de donde salió a través de los carriles. Sin embargo el aislamiento de los carriles con respecto a tierra tampoco es infinito, y en las inmediaciones de donde se encuentre el tren, una parte de la corriente se saldrá de ellos y pasará a tierra, circulando por ella. Será en otro tramo de la vía, generalmente en las inmediaciones de la subestación, cuando esta corriente volverá otra vez a los carriles hasta alcanzar el negativo del rectificador.

El valor de la corriente que se sale de los carriles en las inmediaciones de donde se encuentra el tren depende de los siguiente factores:

1º.- Tensión de los carriles con respecto de tierra.

Como en todo circuito eléctrico, para un mismo valor de resistencia, la intensidad aumenta de forma proporcional a la tensión. Así cuanto mayor sea la tensión, mayor será la corriente que pasará del carril a tierra. El valor de la tensión está determinado por a su vez por:

- Resistencia de los carriles por unidad de longitud en ohmios por kilómetro. Esta resistencia por unidad de longitud depende del tipo de carril, así un carril de 60 kg/ml tendrá menor resistencia que uno de 54 kg/ml, y a su vez la resistencia de este será menor que un carril de 45 kg/m.l.
- Distancia entre subestaciones. La distancia entre subestaciones equivale a la longitud del conductor, por tanto cuanto menor sea su longitud menor será su resistencia.
- Intensidad de corriente que circula por los carriles como consecuencia del consumo del tren.

2º.- Aislamiento de los carriles con respecto de tierra

El aislamiento de los carriles con respecto de tierra, constituye el valor de la resistencia que se interpone entre los carriles y tierra. Así cuanto mayor sea el aislamiento de los carriles con respecto de tierra, menor será la corriente de fuga.

Una forma de medir el aislamiento de los carriles con respecto de tierra, es mediante la medida de la conductancia (la inversa de la resistencia) por unidad de longitud, que se mide en siemens por kilómetro. La conductancia está en función del tipo de elemento sobre el que se coloca la vía. Así no necesariamente tienen la misma conductancia un tramo de vía en placa, que otro sobre balasto limpio o contaminado, o en placa aislada con resina aislante (tipo tranvía), etc.,.

3. Conductancia de los carriles con respecto a tierra

Los valores máximos de conductancia entre carril y tierra para una línea férrea, se indican en la tabla num. 1 de la norma EN 50.122-2

Sistema de tracción	Aire libre S/km	Túnel S/km
Ferrocarril	0,5	0,5
Sistema de transporte masivo en formación abierta	0,5	0,1
Sistema de transporte masivo en formación cerrada	2,5	-

Tabla num. 1

En el que los distintos sistemas de tracción indicados son los siguientes:

Ferrocarril: Lo constituye el sistema clásico formado por traviesas, bien de madera u hormigón, sobre base de balasto.

Sistema de transporte masivo en formación abierta: Lo constituye aquel en que la parte superior de los carriles no se encuentra a la misma altura que la superficie que le rodea (los carriles están mas altos). Este caso corresponde a la configuración de los carriles normales en las instalaciones de ferrocarriles metropolitanos.

Sistema de transporte masivo en formación cerrada: Lo constituye aquel en que la parte superior de los carriles se encuentra a la misma altura que la superficie que lo rodea. Este caso constituye la configuración típica de los tranvías en las ciudades.

Estos valores se refieren a cada una de las vías.

4. Determinación de la conductancia por unidad de longitud (por vía)

Se determinan a continuación los valores esperados de conductancia por unidad de longitud en las distintas configuraciones de vías normalmente utilizadas.

4.1. Vía en placa

Los sistemas de vía en placa, pueden tener distinta configuración. Un caso típico de utilización es el formado por un paralelepípedo de hormigón de dimensiones medias, 25 cm de ancho, 50 cm de largo y 22 cm de alto, sobre el que se apoya cada carril. Este paralelepípedo, denominado generalmente traviesa, está apoyado sobre una cazoleta de PVC, de unos 12 mm de espesor, que recubre parcialmente al paralelepípedo por su base. Esta cazoleta tiene como objeto conseguir de una parte un apoyo mas uniforme y por otra disminuir el nivel de ruido, comportándose al mismo tiempo, desde el punto de vista eléctrico como un aislante. Las traviesas están colocadas con una separación media de 60 cm. Así por cada kilómetro de vía existirán 1666 traviesas para cada uno de los carriles.

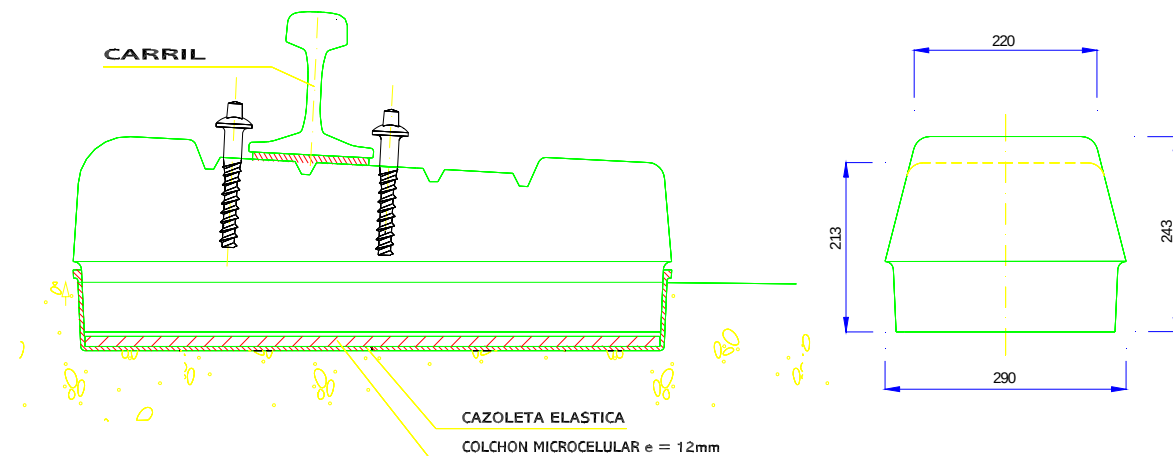
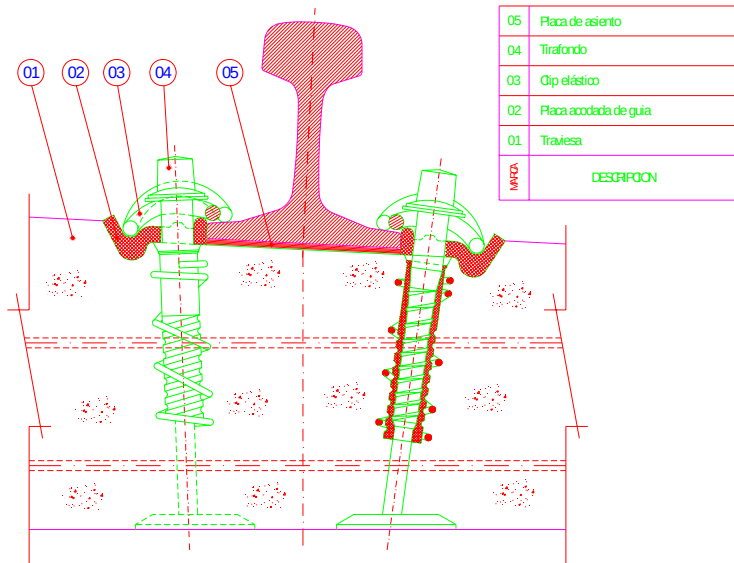


Figura num. 1: Detalle de traviesa polivalente PR 90

Estas traviesas se encuentran embutidas en una base de hormigón, de aproximadamente 10 cm de espesor, y a su vez la base de hormigón, se encuentran sobre una subbase de zahorra de unos 20 cm de espesor. Entre el carril y la traviesa de apoyo, se coloca normalmente una placa de asiento de caucho, que tiene como misión permitir un apriete homogéneo de la grapa de sujeción. Así mismo la grapa de sujeción, se sujeta con un tornillo, que se rosca sobre la traviesa a través de una funda de PVC, que tiene como misión homogeneizar las presiones de roscado con el hormigón, siendo a su vez dicha funda eléctricamente aislante. La placa de asiento tiene unas dimensiones aproximadas de 15 cm de largo por 15 cm de ancho y 5 milímetros de espesor.



La corriente eléctrica, para pasar del carril a tierra, tiene que pasar por tanto a través de los siguientes elementos definidos anteriormente: Placa de asiento de caucho, traviesa de hormigón, cazoleta, base de hormigón y subbase de zahorra, comportándose estos elementos como resistencias eléctricas conectadas en serie unas con otras.

Figura num. 2: Detalle fijación de carril a traviesa

La determinación de la resistividad de cada uno de los elementos, se calcula mediante la expresión $R = \rho \cdot L / S$, donde ρ es la resistividad en ohmios.metro, L la longitud del conductor (en este caso el espesor de la capa de zahorra, hormigón, traviesa, etc) y S la sección.

Cálculo de la resistencia de la placa de asiento:

La placa de asiento, con una resistividad estimada de 100000 ohmios.metro, y con dimensiones de 5 mm de espesor, 15 cm de ancho y 15 cm de largo, presenta una resistencia de 22.222 ohmios. $(100000 \cdot 0,005 / (0,150 \cdot 0,150) = 22.222 \text{ ohmios})$. Como existe una por cada bloque de traviesa y 1666 traviesas por kilómetro, se obtendrá que el valor de resistencia por kilómetro de vía, que ofrece este elemento será de: $22.222 / (2 \cdot 1666) = 6,67 \text{ ohmios}$.

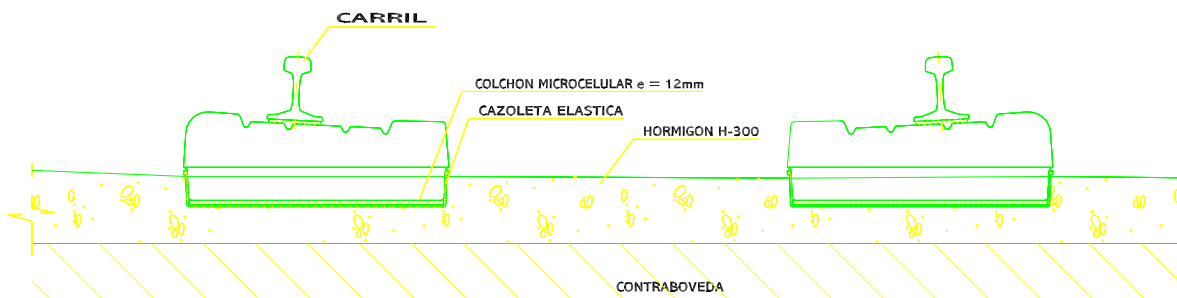


Figura num. 3: Detalle colocación traviesa de vía en placa

Cálculo de la resistencia eléctrica de la traviesa:

La resistencia de cada uno de los bloques de la traviesa, considerando el valor de resistividad del hormigón de 3000 ohmios y con dimensiones de longitud (espesor) de 22 cm, largo de 50 cm y ancho de 25 cm, será de 6000 ohmios. Ahora bien, si consideramos que existen dos bases por cada traviesa, y que además existen 1666 traviesas por kilómetro de vía, tendremos un valor de resistencia de $6000 / (2 \cdot 1666) = 1,8 \text{ ohmios}$.

Cálculo de la resistencia eléctrica de la cazoleta:

Consideramos ahora la cazoleta aislante que incorpora cada bloque de traviesa, y estimamos un valor de resistividad similar al considerado para la placa de asiento de 100.000



ohmios.metro. Para las dimensiones indicadas de longitud (espesor) de 12 mm, superficie de 0,125 m², (0,5 m x 0,25 m) el valor de resistencia de cada base de goma será de 9600 ohmios. Como son dos carriles y existen 1666 bases por cada kilómetro, tendremos que el valor de resistencia del conjunto será de $9600/(2 \cdot 1666) = 2,88$ ohmios.

Figura num. 3: Fotografía de vía en placa

Cálculo de la resistencia eléctrica de la base de hormigón:

Desde el punto de vista eléctrico, podemos considerar de una forma bastante aproximada que la superficie de contacto de cada uno de los bloques de la traviesa, tanto para la base de hormigón como para la subbase de zahorra, corresponde con la superficie de la base de la traviesa. Con esta consideración, tendremos que para cada bloque de la traviesa y considerando un valor de resistividad del hormigón de 3000 ohmios.metro, una superficie de 0,125 m², (0,5 m x 0,25 m) y un espesor de 20 cm, el valor de la resistencia unitario será de 4800 ohmios. Como son dos carriles y existen 1666 bases por cada kilómetro, tendremos que el valor de la resistencia de conjunto de la base de hormigón será de 1,44 ohmios.

Cálculo de la resistencia eléctrica de la subbase de zahorra:



Tomando las mismas consideraciones eléctricas de la base de hormigón para la subbase de zahorra, así como los mismos valores dimensiones y de resistividad, se obtiene de igual forma un valor de resistencia por cada kilómetro de vía de 1,44 ohmios.

Figura num. 4: Detalle de sujeción de vía en placa

La resistencia total será la suma de todas las resistencia, placa de asiento, traviesa, cazoleta aislante, base de hormigón y subbase de zahorra.. $R_t = 6,67 + 1,8 + 2,88 + 1,44 + 1,44 = 14,23$ ohmios. Así entonces tendremos que por cada kilómetro de vía, el valor de la resistencia con respecto de tierra, será de 14,23 ohmios.

Modificando el dimensionado y resistividades dentro de lo considerado como valores normales, encontramos valores máximos de resistencia de 15 ohmios y mínimos de 11 ohmios, por lo que el valor encontrado de 14,23 ohmios, lo podemos considerar como valor medio.

Como la conductancia es la recíproca de la resistencia, se obtendrá que el valor de la conductancia por kilómetro es de 0,0703 siemens.

4.2. Vía tranviaria sobre resina aislante



Este sistema constructivo de la vía, está formado por una subbase de zahorra de 20 cm de espesor, sobre la cual va una base de hormigón de aproximadamente 20 cm de espesor. Embutida en esta base de hormigón va una resina aislante y sobre ella el carril.

Figura num. 5: Fotografía de vía tranviaria (tranvía de Alicante)

Cálculo de la resistencia eléctrica de la base de hormigón:

Desde el punto de vista eléctrico, podemos considerar de una forma bastante aproximada que la superficie de contacto de cada uno de los bloques de la traviesa, tanto para la base de hormigón como para la subbase de zahorra, corresponde con la superficie de la base de la traviesa. Con esta consideración, tendremos que para cada bloque de la traviesa y considerando un valor de resistividad del hormigón de 3000 ohmios.metro, una superficie de 0,125 m², (0,5 m x 0,25 m) y un espesor de 20 cm, el valor de la resistencia unitario será de 4800 ohmios. Como son dos carriles y existen 1666 bases por cada kilómetro, tendremos que el valor de la resistencia de conjunto de la base de hormigón será de 1,44 ohmios.

Cálculo de la resistencia eléctrica de la subbase de zahorra:

Tomando las mismas consideraciones eléctricas de la base de hormigón para la subbase de zahorra, así como los mismos valores dimensiones y de resistividad, se obtiene de igual forma un valor de resistencia por cada kilómetro de vía de 1,44 ohmios.



Figura num. 6: Detalle sujeción vía tranviaria con resina aislante

Cálculo de la resistencia eléctrica de la resina aislante:

La resina aislante donde va embutida la vía, tiene una resistividad del orden de 100000 ohmios.km, con unas dimensiones aproximadas de 25 cm de ancho y 5 cm de profundo (en el fondo). En estas condiciones el valor de la resistencia por cada kilometro de vía será de 10 ohmios.

Así, la resistencia total por kilómetro de vía será de $1,44 + 1,44 + 10 = 12,88$ ohmios

Las variaciones de las dimensiones de la capa de hormigón o subbase de zahorra del orden de ± 5 cm , así como variaciones en la resistividad de la resina aislante o en su dimensiones hacen oscilar el valor de la resistencia por cada kilómetro de vía, entre un máximo de 15 ohmios y un mínimo de 10 ohmios, por lo que podemos tomar el valor obtenido de 12,88 ohmios como valor medio. El valor medio de la conductancia por cada kilómetro de vía será por tanto de $1/12,88 = 0,077$ siemens

4.3. Vía sobre balasto

La vía sobre balasto, está formada por una subbase de zahorra de al menos 20 cm de espesor, y sobre esta una base de balasto de al menos 40 cm de espesor, con una anchura por vía del orden de 3 m. Sobre el balasto van las traviesas y sobre ellas la placa de asiento. Colocándose encima de todo los carriles.

La subbase de zahorra, tal como se ha indicado en apartados anteriores tiene una resistencia por kilómetro de vía de 1,44 ohmios.

La base de balasto, considerando una resistividad de 5000 ohmios.metro, tiene una resistencia por kilómetro de 4,80 ohmios.

Las traviesas de hormigón, con dimensiones similares al paralepípedo considerado en la vía en placa, presentan una resistencia por kilómetro de vía de 1,44 ohmios.

La placa de asiento, presenta una resistencia por kilómetro de vía de 6,67 ohmios.

El conjunto ofrece una resistencia por kilómetro de vía de $1,44+4,80+1,44+6,67 = 14,35$ ohmios.

Las variaciones de las dimensiones de la capa de balasto o subbalasto del orden de ± 5 cm , la utilización de traviesa monobloque o bibloque, así como variaciones en el valor de la resistividad de los materiales considerados, hacen oscilar el valor de la resistencia por cada kilómetro de vía, entre un máximo de 20 ohmios y un mínimo de 10 ohmios, por lo que podemos tomar el valor obtenido de 14,35 ohmios como valor medio. El valor medio de la conductancia por cada kilómetro de vía será por tanto de $1/14,35 = 0,070$ siemens

4.4. Comprobación valores de conductancia

Los valores de conductancia entre carril y tierra calculados se indican en la siguiente tabla:

Sistema de tracción	Aire libre S/km		Túnel S/km	
	Norma	Cálculo	Norma	Cálculo
Ferrocarril	0,5	0,070	0,5	0,070
Sistema de transporte masivo en formación abierta	0,5	0,073	0,1	0,073
Sistema de transporte masivo en formación cerrada	2,5	0,077	-	-

Tabla num. 2

Se observa en la tabla num. 2, que los valores calculados son menores que los valores indicados en la norma.

5. Evaluación de las corrientes vagabundas

La evaluación de las corrientes vagabundas se tiene que realizar para cada instalación en particular ya que además del valor de la conductancia entre carril y tierra intervienen otros elementos como son el tipo de carril de la instalación, distancia entre subestaciones, tensión de alimentación del sistema, intensidad nominal de carga de la línea, conexasión o no a tierra del circuito de retorno con la tierra de protección de la subestación, tipo de cable de tierra, valor medio y disposición de las tierras del cable de tierra con respecto a los carriles, etc.

La norma 50.122-1, determina que la tensión máxima que puede existir entre la posición de donde se encuentra el tren y la barra de ceros de negativo, es decir, la diferencia de potencial existente entre la posición del tren y el negativo del rectificador, puede alcanzar un valor máximo de 120 V, y este máximo se obtiene cuando por los carriles circula la máxima intensidad prevista y el tren se encuentra en el punto mas alejado entre dos subestaciones. Este valor es el punto de partida en el diseño de la instalación, ya que en su obtención interviene el tipo de carril de la instalación (resistencia por unidad de longitud), distancia entre subestaciones, intensidad nominal de carga, etc.

Si conocemos a priori el tipo de vía a instalar y su forma constructiva, podremos determinar el valor de la resistencia por kilómetro y por tanto su conductancia.

Si consideramos el circuito eléctrico formado por los carriles y las resistencias a tierra, discretizado cada kilómetro, tendremos el circuito de la figura num. 7, donde la resistencia entre carril y tierra por cada kilómetro se encuentra eléctricamente conectada en paralelo con la resistencia longitudinal del carril.

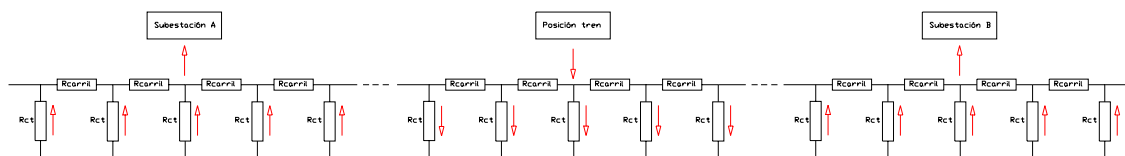


Figura num. 7

Calculando el circuito equivalente en función del tipo de carril, tipo de construcción de vía y distancia obtenemos una serie de curvas que se indican en la figura num. 8 donde se observa que para distancias mayores de 20-25 km el valor de la resistencia entre tierra y carril apenas tiene variación, permaneciendo prácticamente constantes.

Por otra parte el valor de la tensión máxima accesible indicada en la norma 50.122-1, corresponde al valor máximo de tensión que normalmente corresponde al centro del trayecto entre dos subestaciones, presentando el valor de la tensión a lo largo del trayecto una forma senoidal con valor mínimo entre 10 y 20 V (en función del conexasión de las subestaciones a la línea y recta de carga del conjunto transformador – rectificador), teniendo esta tensión máxima de 120 V un valor eficaz máximo de aproximadamente 100 V.

Por otra parte se ha podido comprobar que el paso de las corrientes vagabundas desde los carriles hacia tierra se produce en el intervalo entre dos subestaciones, siendo prácticamente nulo fuera de dicho trayecto. En el resto de los trayectos lo que hace la corriente es pasar desde tierra de nuevo a los carriles para alcanzar el negativo del rectificador y también a través de la tierra de la subestación en caso de estar conectado el negativo a tierra.

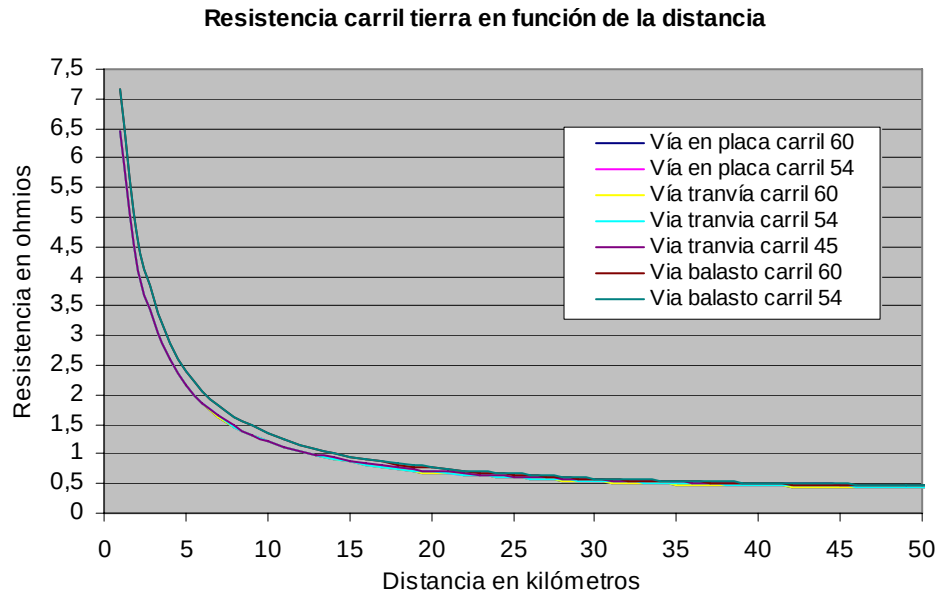


Figura num. 8.

De esta forma podemos obtener de una forma muy aproximada el valor eficaz de las corrientes vagabundas como el cociente entre el valor de tensión eficaz máxima, 100 V y el valor de la resistencia equivalente de los carriles con respecto de tierra en función de la distancia entre subestaciones.

Caso práctico de evaluación rápida de las corrientes vagabundas máximas:

Consideramos un ejemplo de cálculo inicial de las corrientes vagabundas con las siguientes condiciones:

Distancia entre subestaciones: 20 km

Tipo de carril: UIC 60 kg/m

Tipo de vía: Balasto

Subestaciones: Acopladas en ménsula, con negativo puesto a tierra

Valor de resistencia red de tierras en la subestación: 0,8 ohmios

Máximo valor de corriente permitido entre tierra y negativo de tracción: 200 A

Independientemente de la tensión de alimentación, la máxima tensión accesible que puede existir es de 120 V que se podría obtener en el centro del trayecto.

La tensión máxima esperada entre negativo y tierra en la subestación es de $200 \times 0,8 = 16$ V.

Tensión máxima eficaz accesible a lo largo del trayecto : $16 + 120/1,41 \cong 100$ V

Para una distancia entre subestaciones de 20 km, el valor de la resistencia conjunta entre carril y tierra de acuerdo con la gráfica de figura num. 8 y tabla num. 3 es de: 0,76 ohmios. Así el valor máximo eficaz de las corrientes vagabundas será de $100 / 0,76 = 132$ Amperios

	Vía en placa carril 60	Vía en placa carril 54	Vía tranvía carril 60	Vía tranvía carril 54	Vía tranvía carril 45	Vía balasto carril 60	Vía balasto carril 54
Distancia							
1	6,443	6,443	6,443	6,443	6,444	7,178	7,178
2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,302	4,79	4,79
3	3,23	3,231	3,23	3,231	3,234	3,598	3,599
4	2,59	2,592	2,59	2,592	2,595	2,884	2,886
5	2,165	2,167	2,165	2,167	2,171	2,41	2,412
6	1,862	1,865	1,862	1,865	1,87	2,072	2,075
7	1,636	1,639	1,636	1,639	1,645	1,82	1,823
8	1,462	1,465	1,462	1,465	1,472	1,625	1,628
9	1,323	1,326	1,323	1,326	1,334	1,47	1,473
10	1,21	1,214	1,21	1,214	1,222	1,343	1,347
11	1,116	1,12	1,116	1,12	1,13	1,239	1,243
12	1,037	1,042	1,037	1,042	1,053	1,151	1,155
13	0,9711	0,9763	0,9711	0,9763	0,9876	1,076	1,081
14	0,9137	0,9194	0,9137	0,9194	0,9315	1,011	1,017
15	0,864	0,87	0,864	0,87	0,883	0,9559	0,962
16	0,8205	0,827	0,8205	0,827	0,8408	0,9071	0,9136
17	0,7823	0,7892	0,7823	0,7892	0,8038	0,8641	0,871
18	0,7485	0,7557	0,7485	0,7557	0,7712	0,8261	0,8333
19	0,7185	0,7261	0,7185	0,7261	0,7423	0,7922	0,7998
20	0,6916	0,6996	0,6916	0,6996	0,7165	0,7619	0,7699
21	0,6675	0,6758	0,6675	0,6758	0,6936	0,7346	0,743
22	0,6458	0,6545	0,6458	0,6545	0,673	0,71	0,7188
23	0,6262	0,6352	0,6262	0,6352	0,6544	0,6878	0,6969
24	0,6085	0,6178	0,6085	0,6178	0,6377	0,6676	0,6771
25	0,5923	0,602	0,5923	0,602	0,6226	0,6493	0,659
26	0,5776	0,5876	0,5776	0,5876	0,6089	0,6325	0,6426
27	0,5641	0,5745	0,5641	0,5745	0,5964	0,6172	0,6276
28	0,5518	0,5625	0,5518	0,5625	0,5851	0,6031	0,6139
29	0,5405	0,5515	0,5405	0,5515	0,5747	0,5902	0,6013
30	0,5302	0,5414	0,5302	0,5414	0,5653	0,5783	0,5897

Tabla num. 3: Valores de resistencia conjunta entre carril y tierra

6. Recomendaciones

Con el objetivo de minimizar las corrientes vagabundas, generadas por el sistema de tracción en corriente continua, las medidas más eficaces son aquellas destinadas a retener la

corriente de retorno de tracción en los confines previstos para su circuito metálico de retorno. Esto se puede conseguir asegurando un alto nivel de aislamiento a tierra de los carriles de vía y la totalidad del circuito de retorno.

6.1. Instalación de vía

Dentro de las instalaciones de vía, la parte mas importante es el circuito de retorno, formado básicamente por los carriles y los cables de interconexión entre ellos mismos así como con el negativo del rectificador.

Así entonces, para contribuir a la reducción de las corrientes vagabundas, es necesario:

- Balasto limpio
- Traviesas de madera o de hormigón con sistemas de sujección aislantes
- Una distancia adecuada entre el balasto y los carriles de vía
- Un drenaje eficaz del agua.

6.2. Interconexiones eléctricas con los carriles

El circuito de retorno, está formado básicamente por los carriles y los cables de unión entre estos y el negativo del rectificador. Para asegurar un buen aislamiento de estos cables con respecto a tierra deberán disponer de un revestimiento exterior aislante, para una tensión de aislamiento 750/1kV.

El circuito de retorno no deberá estar conectado a tierra en ningún punto de su trazado.

La barra de cero de negativos en las subestaciones deberá funcionar de tal forma que se mantengan aisladas de tierra.

En caso de que sea preciso por motivos de seguridad, se proporcionará un dispositivo de limitación automática de tensión para conectar entre la barra cero de negativos y tierra.

En todas y cada una de las subestaciones se instalará un equipamiento denominado "Equipo de protección de fallo de estructuras". Este equipo tiene como misión controlar de forma permanente la diferencia de potencial existente entre tierra y las estructuras, de tal forma que active las protecciones de la subestación, cuando la tensión entre tierra y la estructura sea superior al valor predeterminado, de acuerdo con lo expuesto en la norma EN 50.122-1.

En esta totalidad del circuito de retorno se encuentra incluido no solamente los carriles, sino los cables de interconexión de los carriles con el negativo del rectificador, los cables de continuidad del circuito eléctrico, los cables conectados a los carriles relativos a las instalaciones de seguridad, contadores de ejes, etc.

En caso de que se proporcionen dispositivos de limitación de la tensión entre el circuito de retorno y los componentes metálicos de la estructura del túnel como una medida de protección destinada a evitar la presencia de tensiones admisibles según lo expuesto en la norma EN 50.122-1 deberá de satisfacer las siguientes condiciones:

Si el dispositivo limitador de tensión ha entrado en funcionamiento, tanto si este debe restablecerse de forma automática después de un plazo máximo de 10 segundos, como en caso de que no se restablezca, se deberá establecer un procedimiento para registrar y subsanar de forma rápida las causas de la incidencia.

El diseño del dispositivo limitador de tensión deberá permitir su funcionamiento con el valor mas alto previsto de corriente en condiciones de fallo. Una vez cerrado, el dispositivo no deberá abrirse hasta que la corriente no se reduzca a un nivel seguro (inferior al poder de corte nominal de dispositivo).

7. Distribución de corrientes vagabundas a lo largo de la vía.

El aislamiento entre los carriles y tierra es un aspecto fundamental en la formación y distribución de las corrientes vagabundas.

Se representa a continuación la distribución de las corrientes en un tramo de vía doble, con carril de 60 kg/ml, distancia entre subestaciones de 20 km para un consumo de 1000 Amperios en el centro del trayecto. Todas las subestaciones están conectadas en paralelo (ménsula). En las representaciones gráficas se supone un primer caso con el negativo de la subestación puesto a tierra y un segundo caso con el negativo aislado de tierra. La resistencia entre carril y tierra se supone en ambos casos igual y de valor 5 ohmios. Para la realización de los gráficos se ha considerado un tramo de vía doble de 100 km, con subestaciones situadas cada 20 km, (P.K. 0, 20, 40, 60, 80 y 100) estando situado el tren en el kilómetro 50.

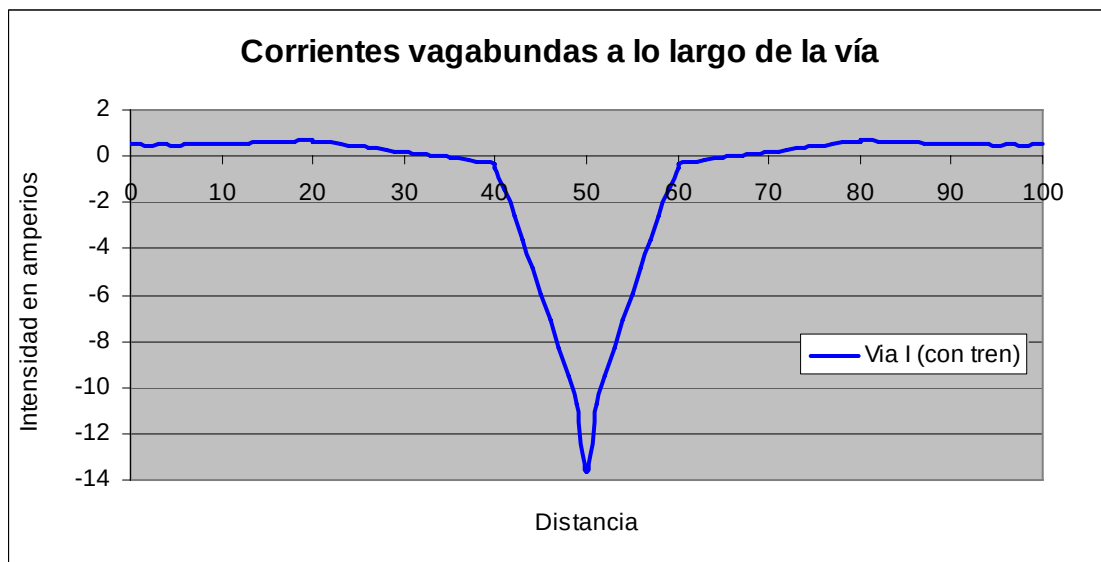


Figura num. 9

En la figura num. 9 se puede observar el valor de la corriente por km de línea que pasa de los carriles a tierra. El punto donde está situado el tren es donde el valor de las corrientes vagabundas es mayor, disminuyendo conforme aumenta la distancia al tren, pasando corrientes de los carriles a tierra hasta aproximadamente el p.k. 35 por la izquierda y hasta el p.k. 65 por la derecha. A partir de estos puntos, el sentido de la corriente se invierte pasando desde tierra a los carriles. Como en este supuesto hemos considerado que el

negativo de las subestaciones está conectado a tierra, existirá una parte importante de la corriente que alcanza el rectificador a través de dicha tierra.

La figura num. 10. corresponde a los valores de corriente por kilómetro de carril en la vía contraria (donde no está el tren).

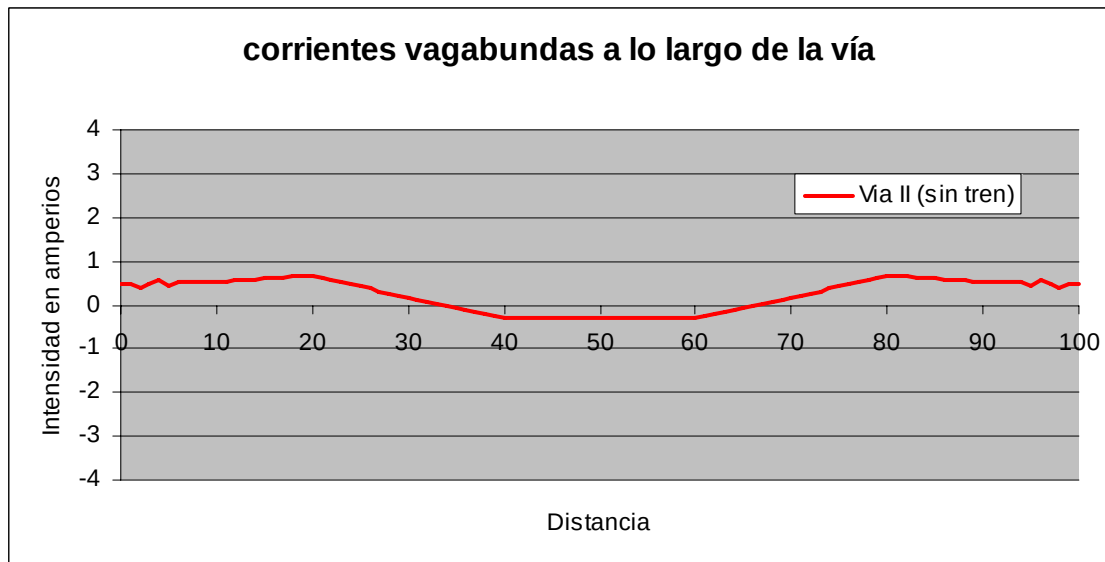


Figura num. 10

En la figura num. 11 se representa el valor de la corriente que pasa desde tierra al negativo del rectificador en cada una de las subestaciones.

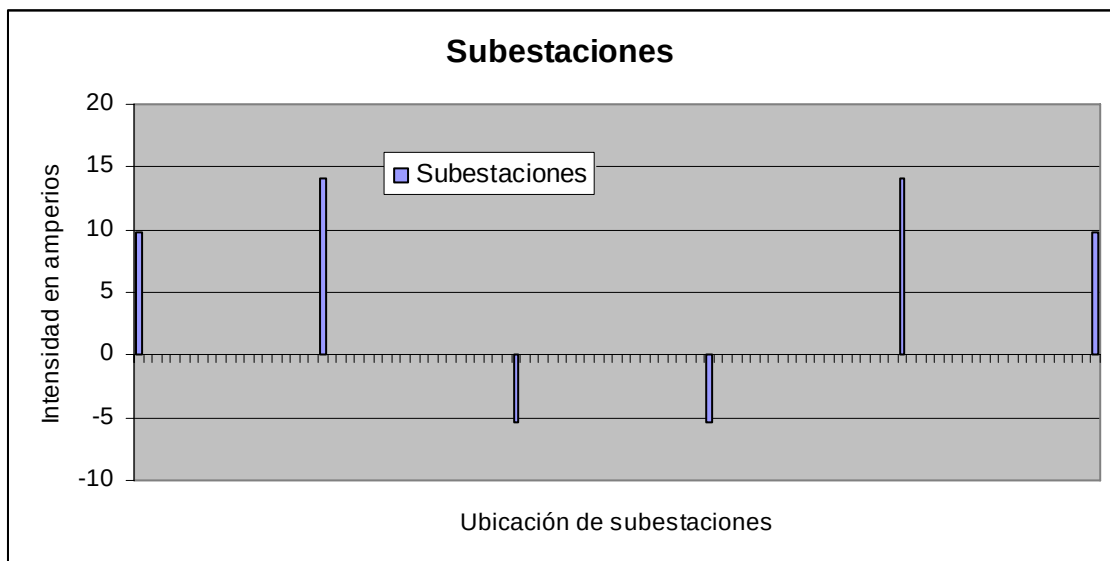


Figura num. 11

Se verifica siempre que el valor de la corriente que sale de los carriles hacia tierra es igual al valor de la corriente que entra de tierra a los carriles y al negativo del rectificador.

Para el ejemplo que estamos considerando el valor total de la corriente que sale de los carriles, para una carga situada en el centro del trayecto de 1000 A, es igual aproximadamente a 137 amperios.

Consideramos ahora que el negativo de la subestación no está conectado a tierra, en este caso la corriente por tierra a la subestación es nula, canalizándose toda ella por los carriles.

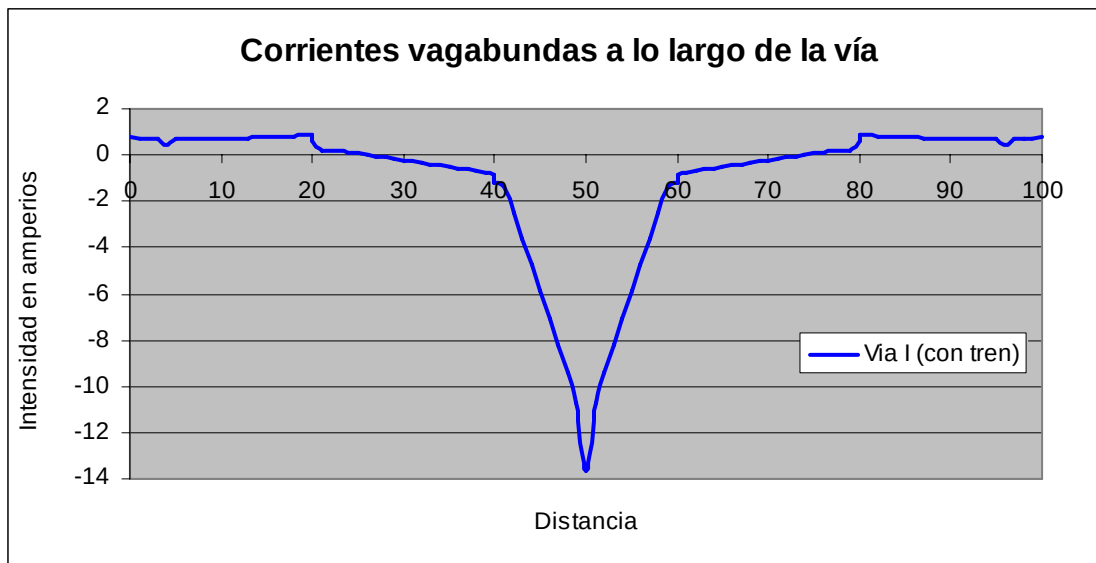


Figura num. 12

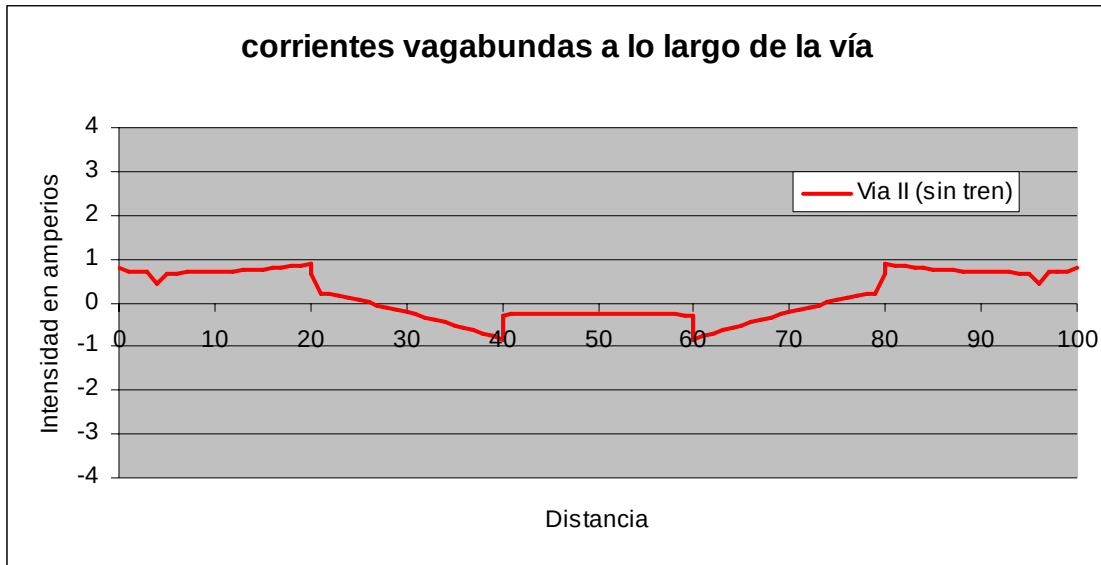


Figura num. 13