



***RailPower*: Programa de Cálculo de Potencias en SS/EE de Tracción.**

1. Introducción.

Para competir con otros medios de transporte las distintas compañías de ferrocarriles se ven obligadas a disminuir el intervalo entre trenes y a aumentar la velocidad de servicio en la línea. Estos objetivos se alcanzan normalmente con nuevo material rodante de más prestaciones, o bien aumentando el número de trenes en circulación. Ambos factores conllevan una mayor exigencia de potencia que se consigue construyendo nuevas subestaciones eléctricas de tracción o añadiendo más grupos rectificadores en las existentes.

La ubicación idónea de las nuevas subestaciones eléctricas y la potencia necesaria en cada una de ellas condicionan los intervalos mínimos entre trenes alcanzables y dependen de tantos factores (características del trazado, material móvil empleado, malla de circulación de trenes prevista, disponibilidad de líneas de alta tensión y de terrenos, impacto medioambiental, etc.) que la toma de decisiones requiere la realización de numerosos cálculos para diferentes situaciones, imposibles de realizar manualmente de una forma rigurosa.

Para solucionar este problema Ardanuy Ingeniería s.a. ha desarrollado - dentro de su programa de inversiones en I+D - una completa herramienta informática, el paquete de software *RailPower*, que permite la realización de estudios de dimensionamiento eléctrico en líneas

ferroviarias basados en la simulación de condiciones reales de explotación. Los resultados obtenidos facilitan la toma de decisiones en lo relativo a la correcta electrificación de la línea: ubicación y potencia de las SS/EE, características de la catenaria, etc., lo que contribuye a la optimización de costes y a la determinación de los límites de explotación, adelantándose a la aparición de situaciones críticas.

RailPower ha sido desarrollado en entorno Windows, lo que facilita su uso y la presentación y manejo de resultados. Esta circunstancia y su composición modular hacen que el programa esté abierto a estudios o necesidades concretas de cualquier explotación.

2. Campos de Aplicación.

RailPower está diseñado para su aplicación tanto en ferrocarriles como metros o tranvías. En líneas ferroviarias puede aplicarse a trenes de alta velocidad (AVE), líneas de largo recorrido (velocidad alta 220 km/h, líneas de 160 km/h, etc.), cercanías ... El programa permite el tratamiento de tramos de doble vía y tramos de vía única. Así mismo está especialmente previsto para el estudio de circulaciones mixtas de trenes con distintos tipos de composiciones, locomotoras, automotores y material remolcado.

3. Estudios derivados del empleo de RailPower.

Los resultados obtenidos mediante *RailPower* se utilizan principalmente para decidir la ubicación y potencia de las subestaciones de un nuevo tramo o de un tramo en servicio cuyas condiciones de explotación cambien. También permite el correcto dimensionado de la catenaria, tercer carril y de los feeders de refuerzo. Sin embargo, *RailPower* puede también afrontar otros estudios referentes a la explotación de una línea:

- Tiempos de recorrido y potencia consumida, para cada tipo de tren o régimen de marcha.
- Máxima frecuencia de paso de trenes.
- Optimización de horarios.
- Situación ideal de los puestos de banalización y adelantamiento.
- Porcentaje de recuperación de energía al emplear trenes con regeneración en el frenado.
- Pérdidas en la catenaria.
- Conexión idónea de las subestaciones a la catenaria: subestaciones en ménsula o en pi, alimentación de vías independiente o con puestas en paralelo...

4. Factores que tiene en cuenta RailPower.

RailPower realiza una simulación precisa de las condiciones reales de explotación teniendo en cuenta las curvas características de los trenes, los parámetros del trazado (pendientes, radios de las curvas, peraltes, estaciones y apeaderos, túneles ...), mallas de circulación de trenes, las limitaciones introducidas por la señalización y la catenaria empleada.

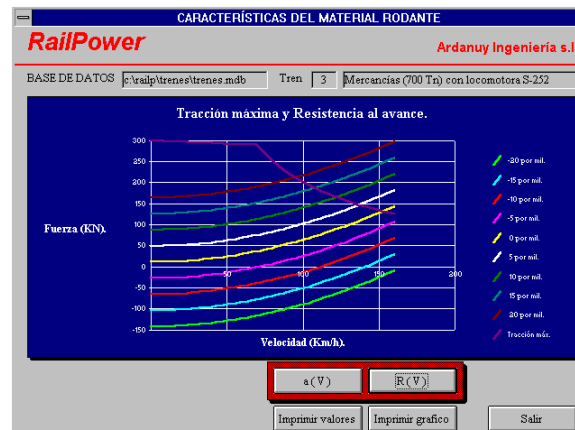
4.1. Material móvil.

El programa permite definir y utilizar cualquier tipo de tren. Para ello es preciso especificar las características de la locomotora, de los coches o vagones, de los automotores y del conjunto de la composición. Entre los datos a introducir figuran el peso, sistema de tracción (motores de CC con combinador de levas y resistencias o control mediante chopper, motores de CA asíncronos o síncronos con inversores estáticos). Las curvas características del material motor y del conjunto del tren

Introducción de datos del material móvil.

se pueden introducir directamente o construirlas a partir de los principales parámetros. Las curvas características que *RailPower* tiene en cuenta

son: resistencia al avance / velocidad, esfuerzo de tracción máximo / velocidad, consumo eléctrico / tracción máxima y fuerza de frenado / velocidad. A partir de estas curvas se calculan las aceleraciones y las intensidades de tracción en condiciones no máximas.



Ejemplo de curva característica del material rodante.

4.2. Características del trazado.

Las características del trazado se introducen, dividiéndolo en tramos homogéneos. La longitud de cada tramo puede ser de algunas decenas de metros o de varios kilómetros. Para cada uno es preciso introducir la pendiente, el radio de la curva y su peralte, el límite máximo de velocidad, la presencia de túnel y su influencia sobre la resistencia al avance y la existencia o no de estación, la posibilidad de adelantamiento en ella, etc.

Datos solicitados por *RailPower* sobre las características del trazado.

4.3. Parámetros de explotación.

Los parámetros de explotación tenidos en cuenta son: aceleración y deceleración máximas, aceleración transversal máxima no compensada y distancia mínima de seguridad entre trenes.

RailPower simula la circulación de trenes obligando a que en todo momento se cumplan estos requisitos. En particular el programa verifica que la distancia entre trenes sea mayor que la de seguridad, obligando al tren de detrás a frenar en caso contrario. Si la prioridad del tren de delante es inferior, el programa permite el adelantamiento en la primera estación posible.

4.4. Mallas de circulación de trenes.

RailPower permite definir tantas mallas de circulación de trenes como se desee. Las mallas a estudiar se introducen estableciendo la secuencia de paso de los trenes durante el intervalo deseado. Para cada tren se especifica el instante en que inicia su marcha, la velocidad inicial, la prioridad respecto al resto de trenes, las estaciones y apeaderos en que cada tren debe detenerse y el tiempo de parada en cada una de ellas.

MALLA DE CIRCULACION DE TRENES

Nombre del Estudio: Vandellós - Tarragona
 Trazado: 1 Alternativa 1
 Malla de circulación: 4 7 trenes a la hora (A, R, A, M, R, LR, R)

Sentido de circulación: L'Ametlla de Mar - Tarragona

Instante	Ref. Tren	Vel. inicial	Preferencia	Tipo Tren	en Est. 2	en Est. 3	en Est. 4
500	5	200	1	Rama AVE	0	0	0
1000	13	0	2	Regional	0	30	30
1500	5	200	1	Rama AVE	0	0	0
2000	11	100	3	Mercancías	0	0	0

Sentido de circulación: Tarragona - L'Ametlla de Mar

Instante	Ref. Tren	Vel. inicial	Preferencia	Tipo Tren	en Est. 6	en Est. 5	en Est. 4
2000	11	0	3	Mercancías	0	0	0
2500	13	0	2	Regional	30	30	30
2890	12	0	1	Largo Recorrido	30	0	0
3600	13	0	2	Regional	30	30	30

Notas explicativas:
 Introducir al menos una hora completa.
 Preferencia: 3 Se deja adelantar por todos.
 2 Se deja adelantar por los de menor pref.
 1 No se deja adelantar.
 El instante de marcha del tren es el tiempo que transcurre hasta que se repite el ciclo desde que parte el último tren.

Ordenar, Deshacer, Imprimir, Guardar, Salir

Ejemplo de horario de una malla de circulación de trenes.

4.5. Características de la catenaria o tercer carril.

Para el cálculo de las caídas de tensión y los estudios de pérdidas en la catenaria es necesario conocer la resistencia de los hilos de contacto, feeders previstos, etc., así como la tensión de alimentación de la línea. Todo ello determina la impedancia del conjunto de las instalaciones de electrificación. *RailPower* permite introducir estos valores o bien calcularlos a partir de las secciones y demás características de los elementos.

5. Metodología y realización de cálculos.

RailPower realiza los cálculos mediante una simulación real de las condiciones de explotación teniendo en cuenta los parámetros descritos. Los cálculos se realizan a partir de una discretización del tiempo en pequeños intervalos. Las condiciones un instante después se obtienen mediante integración numérica de las

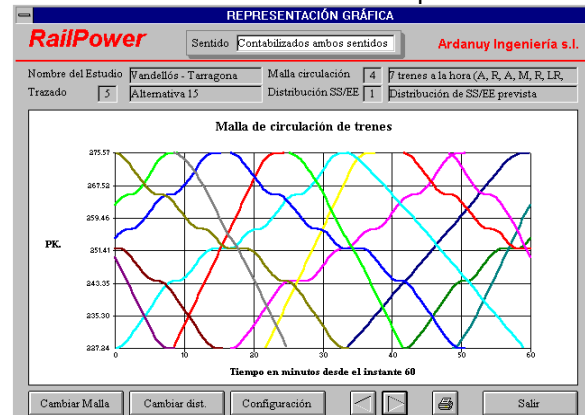
ecuaciones que intervienen en el estudio. Las ecuaciones y los métodos de integración están contrastados con la realidad por distintos organismos y, junto con la posibilidad de disminuir los incrementos de tiempo, permiten obtener resultados con la precisión requerida.

Una vez introducidas las características del material móvil y las del trazado en estudio, el programa calcula la velocidad máxima que puede tener cada tren en cada punto de la línea para cumplir los límites de velocidad establecidos en cada tramo.

A continuación se calcula la circulación aislada por la línea de cada uno de los trenes: el tren acelera, frena, marcha a la deriva, para en las estaciones, etc. Los cálculos obtenidos mediante esta simulación permiten tener una primera aproximación de los tiempos de circulación, de la capacidad de la línea y de las potencias necesarias para esa composición.

Una vez elegida la malla de circulación, se simula la marcha conjunta de todos los trenes solventando (por frenado o adelantamiento) los acercamientos excesivos entre trenes. Como resultado se obtiene la intensidad consumida por cada tren en cada instante y punto de la línea, así como la velocidad del tren. También se calculan los consumos máximos y medios en cada zona de la vía y en el tramo completo objeto del estudio. El programa permite realizar los cálculos teniendo en cuenta o no la recuperación de energía en frenado.

Con estos resultados se conocen las potencias mínimas



Ejemplo de representación gráfica de una malla de circulación.

CATENARIA

Nombre del Estudio: Vandellós - Tarragona

Características de la Catenaria Tipo de Catenaria: Catenaria CR - 220

Nº Feeders	Nº Hilos de Contacto	Nº de Sustentadores	Área (mm²):
0 153 mm²	0 107 mm²	0 153 mm²	709
1 225 mm²	0 120 mm²	1 184 mm²	Resistencia / Km:
0 299 mm²	2 150 mm²		025388

Características de la Vía

Nº de Carriles	Área (mm²):
0 45 Kg/m	13000
2 54 Kg/m	Resistencia / Km:
0 60 Kg/m	014615

Imprimir, Guardar, Salir

Datos solicitados por *RailPower* para los cálculos de la catenaria.

necesarias para esa malla de circulación. Estos mismos cálculos realizados para otras condiciones de explotación permiten obtener los puntos idóneos de ubicación y las potencias requeridas por las SS/EE.

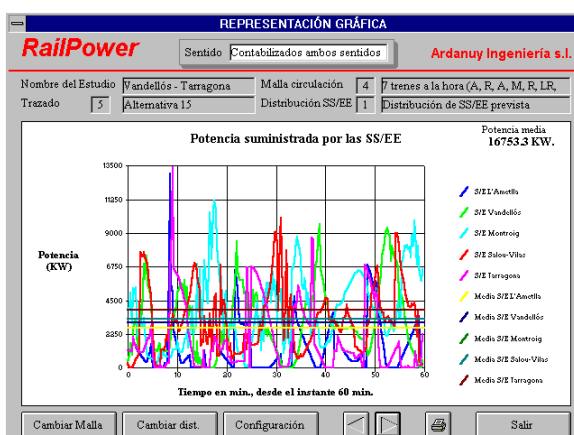
La potencia requerida por cada subestación se obtiene repartiendo los consumos (intensidades) de los trenes, en cada instante, entre las distintas subestaciones en función de su proximidad, obteniendo como subproducto la intensidad en sus feeders. A partir de los valores instantáneos se calcula la potencia media y máxima requeridas en el intervalo de interés.

Finalmente, se calculan las caídas de tensión en la catenaria para cada tren, sumando a la caídas de tensión propia las provocadas por el resto de trenes de la línea. Esto permite verificar si la ubicación elegida para las SS/EE es la adecuada.

6. Resultados proporcionados por el programa.

Los resultados de todos los cálculos pueden observarse por pantalla (o imprimirse) en forma de tablas o gráficos a color para su interpretación y análisis. El programa proporciona los valores instantáneos y globales de los factores que intervienen en la toma de decisiones. De entre los resultados obtenidos cabe destacar:

- Potencia instantánea y media de cada subestación eléctrica de tracción para las distintas distribuciones y mallas de circulación de trenes en estudio.
- Caídas de tensión de los trenes en circulación en cada instante y posición.
- Potencia media e instantánea de las SS/EE y caídas de



Ejemplo de potencia suministrada por las SS/EE .

tensión en los trenes en caso de fallo de alguna subestación o grupo rectificador.

- Recuperación de energía por regeneración en frenado

LISTADO DE RESULTADOS					
RailPower					
Sensido: Contabilizados los dos sentidos					
Arduany Ingeniería s.l.					
Nombre del Estudio	Vandellòs - Tarragona		Malla circulación	4	7 trenes a la hora (A, R, A, M, R, L, R)
Trizado	Alternativa 1		Distribución SS/EE	3	Distribución de SS/EE prevista
Tabla: Potencia suministrada por las SS/EE					
Instante	S/E L'Ametlla	S/E Vandellòs	S/E Montroig	S/E Salou-Vilàs	S/E Tarragona
1h 7'45"	296	1352	889	1886	296
1h 8' 0"	6746	1350	817	1619	297
1h 8'15"	6669	1248	760	1437	297
1h 8'30"	6333	1639	720	2405	7036
1h 8'45"	5694	2928	1174	2350	6992
1h 9' 0"	5040	3611	1169	2392	13339
1h 9'15"	2605	3351	1181	3420	6563
1h 9'30"	2207	3783	705	2508	6454
1h 9'45"	1809	4785	1204	2418	6295
1h 10' 0"	1411	5059	1064	2469	6106
1h 10'15"	1064	5265	999	2626	5887
1h 10'30"	763	5445	1002	2813	5628
1h 10'45"	461	5655	1034	3032	5337
1h 11' 0"	339	5584	1184	3281	5026
1h 11'15"	435	5076	1425	3556	4705
1h 11'30"	531	4655	1676	3857	4376

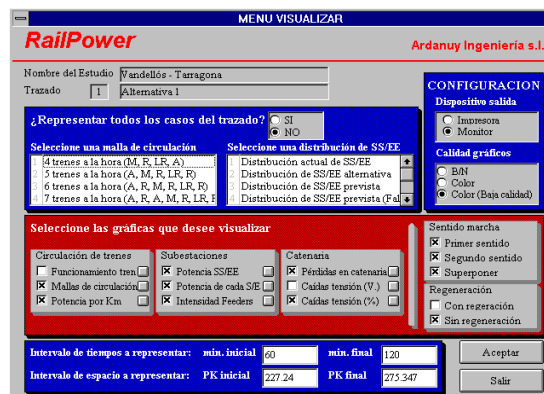
Ejemplo de listado de resultados calculados por RailPower .

- Potencia eléctrica disipada en la catenaria y en los carriles.

- Tiempos totales y parciales de recorrido y consumo eléctrico, velocidad, tracción y aceleración en cada P.K. de los distintos trenes en estudio.
- Posición y consumo, en cada instante, de los trenes de la malla de circulación. En la simulación de las mallas de circulación estudiadas el programa considera las interacciones entre trenes, pudiendo valorar la desviación de la situación real respecto de la ideal.
- Intensidad de los feeders de las subestaciones.
- Potencia consumida en el tramo y en cada kilómetro de la vía por cada malla de circulación de trenes.

7. Análisis de resultados.

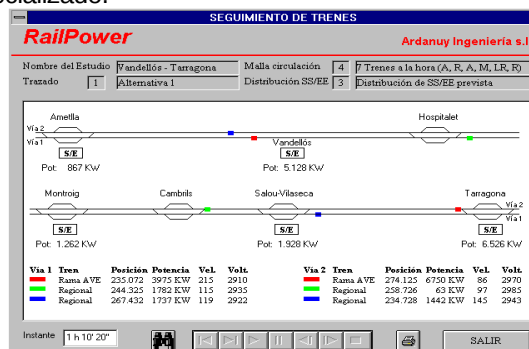
En la elección definitiva de la ubicación de las subestaciones concurren numerosos factores que es preciso considerar: disponibilidad de terrenos o espacio, proximidad de líneas de alta tensión y disponibilidad de



Selección de gráficas de resultados.

potencia por parte de las compañías eléctricas, impacto medioambiental, etc. Por este motivo es conveniente ensayar distintas distribuciones de SS/EE a lo largo de la línea.

En resumen, **RailPower** es una valiosa herramienta para la toma de decisiones acerca de las instalaciones de electrificación: subestaciones eléctricas y catenaria a implantar, que en ningún modo puede excluir la valoración y análisis por parte de personal especializado.



Ejemplo de seguimiento de trenes.