

Comparación entre las locomotoras series 334, 354 y 333-400 de RENFE

Desde la introducción el 10 de diciembre de las nuevas máquinas diésel eléctricas 334 en el remolque de los Talgo s Altaria de Madrid a Murcia y Cartagena -primer servicio comercial de estas locomotoras- son tres tipos de máquinas distintas las que conviven en este servicio: las veteranas diésel-hidráulicas de la serie 354, las diésel-eléctricas 333-400 y las nuevas 334. Es por tanto una buena ocasión para comparar tres máquinas de características aparentemente semejantes (las tres son diésel para trenes rápidos de viajeros) pero que presentan diferencias, lo que hace que cada una de ellas tenga ventajas frente a las otras en ciertos trenes. Esta comparativa permite visualizar el efecto que, sobre las prestaciones, tienen diversas variables, como por ejemplo la masa, la adherencia, la potencia, la velocidad máxima, etc.

La comparativa solo pretende analizar las prestaciones del tipo de máquina que representan, y por ello no se trata de evaluar un producto comercial concreto ni su calidad, precio o costes operativos; sino su adecuación a tipos de servicios determinados y diferentes. Para ello, se parte de una descripción de las características relevantes de cada una, para seguir con las consecuencias que estas características pueden tener en las prestaciones, y finalizar con la comparación en simulador de los resultados obtenidos en diversos escenarios operativos. Se concluye con unas conclusiones que recogen las enseñanzas principales derivadas de la comparativa. Características. Las de la serie 354 son máquinas diésel-hidráulicas construidas en 1983-1984 para el remolque de los trenes Talgo, función a la que se han destinado a lo largo de toda su vida con algunas excepciones, ya que en sus primeros tiempos remolcaron también algunos trenes Estrella a Galicia o Extremadura. Tienen una potencia muy alta (4.000 CV), y la velocidad máxima es de 200 km/h, están autorizadas a circular en curva con aceleración lateral de 1,2 m/s² (tipo B), tienen dos bogies de dos ejes (BB), una masa de 80 toneladas, y no disponen de suministro de energía eléctrica para los servicios auxiliares del tren.



Esta serie estaba integrada inicialmente por ocho máquinas, pero diversos accidentes ocurridos en los últimos años han reducido el parque a tres máquinas, que eran, hasta la llegada de la 334 las únicas máquinas diésel capaces de alcanzar los 200 km/h. Por otra parte, son las máquinas diésel más potentes que ha habido en España. Las máquinas 333.400 proceden de la reconstrucción, realizada desde 2002, de las locomotoras diésel-eléctricas de la serie 333 (que datan de 1974-1976), si bien la reconstrucción fue de tal envergadura que pueden considerarse como máquinas nuevas. Conservan, sin embargo, la estructura de dos bogies de tres ejes cada uno (CC), y la misma potencia del motor original de 12 cilindros, 3.375 CV. Este motor diésel alimenta con un alternador los motores de tracción, y los servicios auxiliares del tren. La velocidad máxima es de 140 km/h, y en las curvas están autorizadas a circular con una aceleración lateral de 0,8 m/s² (tipo N). La masa es de 120 toneladas. Las nuevas locomotoras 334 (construidas desde 2006) son también, teóricamente, una reconstrucción de las veteranas 333, si bien en este caso los elementos reutilizados son tan pocos en número e importancia que deben considerarse como máquinas nuevas. Ahora, el rodaje es de dos bogies de dos ejes, la potencia del motor diésel se ha reducido ligeramente (3.256 CV), la masa también baja hasta las 85 toneladas, la velocidad máxima es de 200 km/h y en curvas pueden circular con aceleración lateral de 1 m/s² (tipo A).

Variables

Observando los datos anteriores se pueden ordenar las máquinas de acuerdo con el valor que para cada una tienen diversas variables que influyen en las prestaciones. La máquina de motor diésel más potente es la 354 (4.000 CV), seguida de la 333-400 (3.375 CV) y por último, la menos potente es la 334 con 3.256 CV (aunque la potencia en llanta es casi idéntica a la 333.400).



Locomotora 334

En lo que se refiere a la adherencia, ésta puede considerarse como el producto de la masa adherente por el coeficiente de adherencia (que a su vez, disminuye con la velocidad). La masa adherente (que en estas locomotoras coincide con la masa total por ser todos sus ejes motores), la de mayor masa es la 333-400, con 120 toneladas. Le sigue, aunque a mucha distancia la 334, ya que su masa es notablemente más reducida (85 t); y finalmente la más ligera es la 354 con 80 toneladas. Por lo que se refiere al coeficiente de adherencia, resulta difícil disponer de datos fiables y homogéneos, si bien no hay duda que en este capítulo la mejor máquina será la 334, cuyos equipos electrónicos de mejora de la adherencia puede estimarse que aumentan el coeficiente alrededor de un 12 por ciento. La 354 (diésel-hidráulica) y la 333.400 tienen un coeficiente de adherencia más convencional, que supondremos a efectos de los cálculos con un valor de 0,28. Multiplicando la masa adherente por el coeficiente de

adherencia en el arranque, obtenemos la fuerza máxima en el arranque. La fuerza máxima limitada por la adherencia en la marcha será siempre menor, pues el coeficiente de adherencia disminuye con la velocidad, si bien el comportamiento de las tres máquinas al aumentar la velocidad cambia de forma similar, por lo que puede concluirse que la ordenación de las máquinas por su fuerza en el arranque es válida también para velocidades mayores. Pues bien, la multiplicación de ambos factores sitúa, en cuanto a adherencia, a la 333-400 en un lugar muy destacado, con un esfuerzo tractor en el arranque de 347 kN, seguido de la 334 con 275 kN, y en último lugar la 354 con tan solo 234 kN (esta baja adherencia de la 354 explica los problemas que tenían esas máquinas, diseñadas para trenes ligeros y velocidades altas, cuando en sus primeros tiempos remolcaban pesados expresos y tenían que arrancarlos a veces en fuertes rampas). Por lo que se refiere a la velocidad máxima, aparecen empatadas la 334 y la 354 ya que en ambas su velocidad máxima es de 200 km/h, seguidas a mucha distancia de la 333-400 que está autorizada a 140 km/h. En cuanto a la velocidad en curva, determinada por la letra de su tipo (N, A o B), la autorizada para circular a la mayor velocidad en una curva de un radio determinado es la 354, que es tipo B y que por lo tanto puede circular a las velocidades que le producen en la curva una aceleración lateral de 1,2 m/s². Le sigue la 334, que es tipo A (1 m/s²) y finalmente la 333-400 que, al tener tres ejes en cada bogie, es tipo N (0,8 m/s²). Para tener una idea de lo que esto significa en la práctica, puede señalarse que en una curva en la que una 333-400 podría circular a 100 km/h, la 334 podría hacerlo a 110 km/h y la 354 a 115 km/h.

Prestaciones

Las prestaciones en términos de velocidad media que consigue el tren con cada máquina en diversos recorridos, se puede analizar en dos casos: en recorridos sin paradas y en recorridos con numerosas paradas o reducciones de velocidad.

Para analizar las prestaciones en recorridos sin paradas se han comparado las velocidades máximas que cada una de las máquinas puede alcanzar con dos tipos de trenes representativos (**Talgo** de 9 y de 22 coches en ambos casos sin necesidad de alimentar los auxiliares del tren) y en diversos tramos: horizontal, rampa de 10 milésimas y rampa de 20 milésimas.

Puede observarse que, en horizontal, la 334 y la 354 se comportan de forma casi idéntica y mucho mejor que la 333.400, al ser dominante en este trazado la velocidad máxima. Sin embargo, a medida que aumenta la rampa, empieza a notarse el efecto diferencial de la potencia, y entonces la 354 empieza a ofrecer unas prestaciones mucho mejores que la 334 y la 333.400.

A su vez, mientras las rampas no son muy fuertes, las prestaciones de la 334 siguen siendo mucho mejores que las de la 333.400, pero con rampas fuertes, la diferencia de velocidad máxima de la máquina nueva desaparece y entonces las dos (334 y 333.400) se comportan de forma muy similar como corresponde a la similitud de su potencia. La diferencia a favor de la 354 frente a las otras es mayor cuanto mayor es la rampa y sobre todo con trenes más pesados. Así, en 20 milésimas y con 22 coches la 354 puede alcanzar los 95 km/h mientras que las otras dos están alrededor de 70 km/h.

Por lo que se refiere al efecto de las paradas, el análisis en simulador se ha hecho arrancando cada uno de los dos trenes con cada máquina en cada uno de los trazados, y realizando recorriendo total de 10 kilómetros. El tiempo empleado se ha restado del que hubiera empujado el tren en recorrer los 10 km a la velocidad de equilibrio o máxima (en función de su masa, rampa y potencia) y, por diferencia, se obtiene el tiempo perdido en la aceleración tras la parada. Aquí los resultados ya son notablemente diferentes: existen muchos casos en los que la mayor adherencia de la 333.400 le permite sea la que menos tiempo pierde en el proceso de aceleración (gana en tres de los seis casos), y ello es especialmente cierto con trenes más pesados. Con trenes ligeros, la 334 es la mejor (los dos casos en que resulta triunfadora es con trenes de 9 coches), mientras que la 354 solo gana en un caso, el de la mayor rampa y mayor carga, donde pese a su baja adherencia, requiere toda su potencia a partir de las velocidades en que la potencia domina sobre la adherencia.



Locomotora 333.4

Conclusiones

De análisis realizado puede concluirse que cada una de las máquinas ofrece unas prestaciones mejores en un tipo de servicio caracterizado por la combinación de diferentes factores: Las 354 y 334 son ventajosas en tramos rectos, sin grandes pendientes y con pocas paradas, y la primera de ellas se comporta notablemente mejor con trenes más pesados. La 333.400 encuentra sus mejores prestaciones en líneas con velocidades máximas no altas, con numerosas paradas o reducciones de velocidad y con cargas grandes.

	333.4	354	334
Tipo máquina / Ejes	CC / 6	BB / 4	BB / 4
Transmisión	Elect. (AC/DC)	Hidráulica	Elect. (AC/DC)
Masa (t)	120	80	85
Potencia motor (CV)	3.300	4.000	3.256
Años fabricación	1975-76	1983-84	2006-2007
Años reconstrucción	2003-04	-	-
Velocidad (km/h)-Tipo	140-N	200-B	200-A

	333.4	354	334
Potencia (kW de la máquina) Calificación	1.875 *	2.250 ***	1.915 **
Velocidad en recta (km/h en recta) Calificación	140 *	200 ***	200 ***
Velocidad curva (km/h curva R 500) Calificación	110 **	115 ***	115 **
Adherencia (kN en el arranque) Calificación	347 ***	234 *	275 **
Masa (t de la máquina) Calificación	120 *	80 ***	85 **
Antigüedad (años en 2007) Calificación	4 **	23 *	1 ***