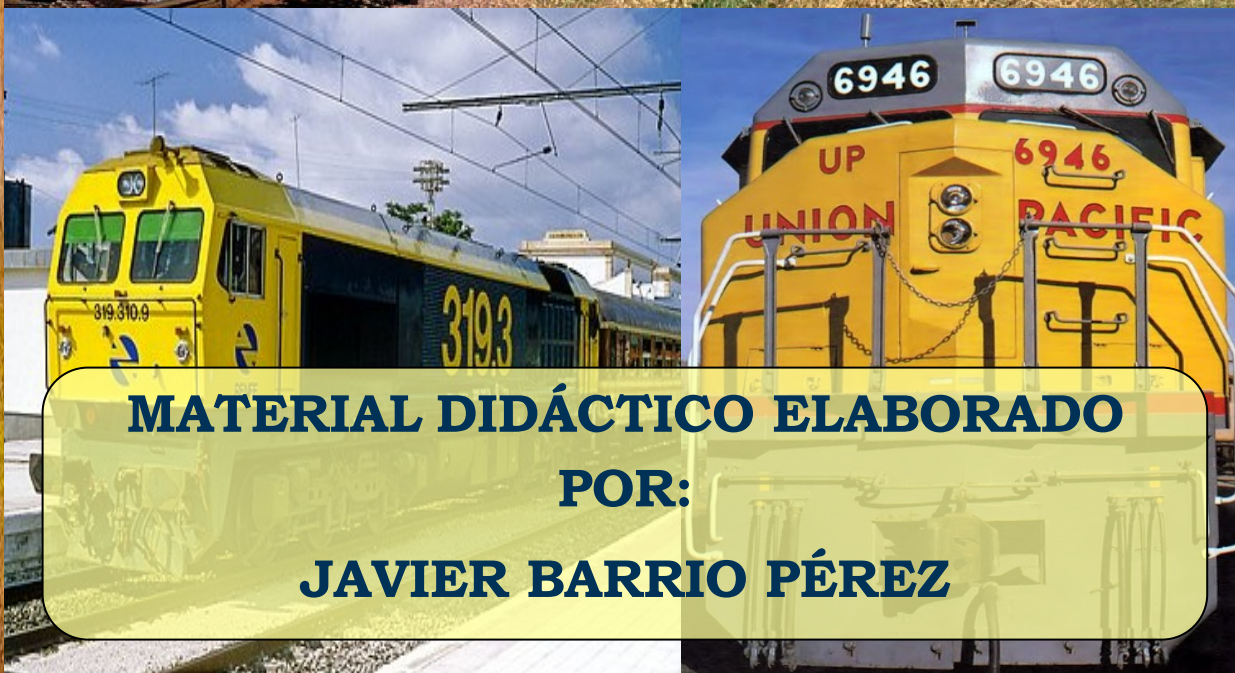




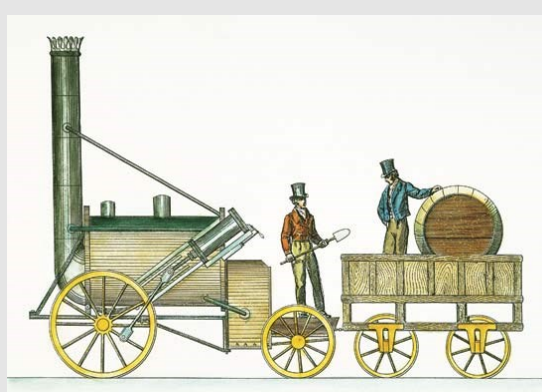
El ferrocarril en la Revolución Industrial



**MATERIAL DIDÁCTICO ELABORADO
POR:
JAVIER BARRIO PÉREZ**

ÍNDICE

Numera- ción	Epígrafe	Página
1	Hitos en el desarrollo del ferrocarril.	3
2	Ideas iniciales.	4
3	De la Primera Revolución Industrial a la Cuarta.	5
4	La revolución tecnológica de la máquina de vapor.	7
5	Funcionamiento de la máquina de vapor.	10
6	La revolución de los transportes.	11
7	La locomotora de vapor.	13
8	El esplendor en los viajes por ferrocarril.	24
9	El desarrollo del ferrocarril en la segunda mitad del siglo XX.	36
10	Las locomotoras diésel.	42
11	Locomotoras eléctricas.	50
12	El tren Talgo.	63
13	Tren de alta velocidad.	68
14	El impacto del ferrocarril en el desarrollo del territorio.	73
15	Breve bibliografía básica comentada.	80



1. Hitos en el desarrollo del ferrocarril

1826: Se inaugura la Granite Railway, primera línea férrea en Estados Unidos, para transportar granito desde Quince, Massachussets a un muelle del río Neponset en Milton.

1830: Primera línea férrea comercial en Estados Unidos entre Baltimore y Ohio. Posee el primer puente diseñado para ferrocarril del mundo.

1837: El 19 de noviembre se inaugura el primer ferrocarril en territorio español en Cuba, entre La Habana y Bejucal.

1844: Se elige el ancho de vía ibérico, que es más ancho que el europeo, antes de tener el primer tren. Tiene seis pies castellanos, que son 1,67 m. El ancho europeo es de 1,435 m.

1848: El 28 de octubre se inaugura el primer ferrocarril de la península, entre Barcelona y Mataró.

1850: Inauguración del primer ferrocarril de América Latina, en México, entre Veracruz y San Juan.

1855: Se estrena un tramo de la primera línea férrea de América del Sur, entre Chile y Valparaíso, que no completa sus 187 km hasta 1863.

1863: El 1 de enero se inaugura en Londres el primer ferrocarril subterráneo.

1869: Ceremonia Golden Spike del 10 de mayo de 1869 para inaugurar el ferrocarril transcontinental de Estados Unidos. Esto hizo que las famosas caravanas de carromatos del llamado viejo oeste de décadas anteriores se volvieran obsoletas.

1879: Werner von Siemens construye en Alemania la primera locomotora eléctrica.

1960: Primer tren bala en Japón, que desde 1964 une las ciudades de Tokio y Osaka.

1981: Se inaugura el primer tren de alta velocidad en Francia, el TGV, entre Paris y Lyon.

1984: Primer tren de levitación magnética o Maglev en Birmingham, Inglaterra. En 2007 funcionarán sólo dos, uno en Munich y otro en Shangai.

1994: Se inaugura el Eurostar que enlaza París y Londres bajo el Canal de la Mancha con un tren de alta velocidad.



2. Ideas iniciales

La palabra **revolución** supone cambio, ruptura o aparición de algo y Revolución Industrial es la expresión debida al inglés **Arnold Toynbee** que, bajo este título, publicó unos ensayos en el año 1884, donde el adjetivo industrial significa que los cambios afectaron a la industria.

Desde la óptica actual existen cuatro revoluciones industriales:

- La **Primera** tiene su origen en Gran Bretaña entre 1760 y 1830. Antes de la llamada Primera Revolución Industrial del siglo XVIII no existían fábricas en el sentido de como hoy son conocidas. El trabajo manual, la habilidad y el esfuerzo físico determinaban la producción de los diversos artículos para el consumo de la sociedad, mediante el quehacer de los artesanos encuadrados en distintos gremios. La aparición de las máquinas en la industria textil y la introducción del vapor como fuente de energía permitió ampliar y multiplicar la producción de los distintos bienes de consumo y, lo más importante, la aparición de las grandes fábricas, que produjo la desaparición de los gremios artesanales y la conversión de los artesanos en obreros asalariados.



Primer puente de hierro en el mundo, sobre el Severn (1755-1779) en Gran Bretaña.

- La **Segunda** aparece entre 1870 y 1914 en los países más pujantes del momento, como Estados Unidos y Alemania, pero sin olvidar a Francia, Gran Bretaña o Japón. El que la Primera Revolución Industrial tenga unas características y la Segunda Revolución Industrial otras, no quiere decir que los países donde se ha aplicado la Revolución Industrial tengan que pasar necesariamente primero por una Revolución Industrial y luego por la otra. Asimismo, el que a partir de 1870 empezase la Segunda Revolución Industrial no quiere decir que los nuevos cambios tecnológicos hayan desterrado por completo a los anteriores. Así, el carbón ha convivido y convive en la actualidad con el resto de materias primas energéticas, aunque su uso se ciñe, en los países industrializados, prácticamente a como materia prima para las centrales termoeléctricas en aquellas regiones donde exista abundante cantidad de carbón o a su importación de otros países, que sea rentable económicamente.

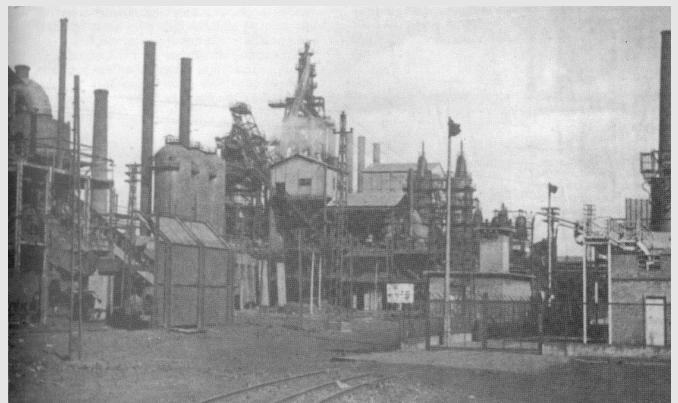
- La **Tercera** se incubó en los años siguientes al finalizar la Segunda Guerra Mundial, bajo el liderazgo, primero, de Estados Unidos y, después, de Japón, y cristaliza en la crisis de la energía de 1973.

- La **Cuarta** comienza a principios del siglo XXI y fue oficialmente presentada en sociedad en 2011 en Hannover con el nombre de industria 4.0. Todas estas iniciativas y otras similares son conocidas como las Smart Industries o Industria Digital.

3. De la Primera Revolución Industrial a la Cuarta

Hasta mediados del siglo XVIII las fuentes de energía que movían las producciones humanas se limitaban al fuego, a la fuerza animal (de hombres, caballos, mulas, bueyes y similares) y al viento. Hay que recordar la importancia de la navegación a vela y de los molinos de viento. El invento del escocés **James Watt** consistente en lograr el auténtico aprovechamiento de la energía del vapor marcó el origen de la Primera Revolución Industrial. Los talleres se transforman en grandes fábricas y nacen los conceptos de obreros industriales e ingeniería industrial. Las fábricas dependían de suministros continuos de agua y combustible y por eso eran construidas preferentemente en los valles de los ríos.

La **Primera Revolución Industrial** se ha identificado con la aparición de fábricas donde se producían grandes cantidades de tejidos de algodón o de hierro, gracias a la utilización de máquinas movidas a vapor o al empleo de otros inventos técnicos. Esta definición es, sin duda, restrictiva, pues en la industrialización se experimentó cambios no sólo en esos dos tipos de industrias, sino en toda la economía. Esos cambios permitieron el aumento de la renta nacional por encima del aumento de su población en los países en los que se dio.



Los grandes centros fabriles son el mejor exponente del capitalismo industrial, surgido en la Primera Revolución Industrial.

En vista de todo lo anterior, el término Revolución Industrial debe aplicarse al crecimiento de la renta por habitante, que algunos países experimentaron desde mitad del siglo XVIII, por lo que la industrialización trae consigo un crecimiento económico sin precedentes a lo largo de la historia, que no alcanza a todos los países. Aquellos que no se industrializaron quedaron en absoluta inferioridad con respecto a los primeros.

La aparición del gas y del petróleo como nuevos combustibles y del motor eléctrico como nueva fuerza motriz fue la base de la Segunda Revolución Industrial. Ya no era necesario construir las fábricas junto a los ríos y la productividad y la diversidad industrial se incrementaron de manera notable.

El industrialismo durante la **Segunda Revolución Industrial** provoca un gran crecimiento de las unidades de producción y la empresa tradicional familiar da paso a nuevas empresas formadas por accionistas, y por tanto constituyendo sociedades anónimas. Estas nuevas formas de organizar las empresas originarán un gran crecimiento urbano, que convertirán las grandes ciudades en grandes mercados, caracterizados por una gran cantidad de población trabajadora, la aparición de una gran clase media y la concentración de una clase económica poderosa, la burguesía industrial.



En el último tercio del siglo XX la revolución producida en las tecnologías de la información y de la comunicación (TICs) con el desarrollo de internet, da lugar a la sociedad de la información y del conocimiento, y es el desencadenante de la **Tercera Revolución Industrial**, que es la etapa en la que todavía estamos ubicados la mayoría de las naciones civilizadas.



En la **Cuarta Revolución Industrial** confluyen avances tecnológicos que abarcan amplios campos, como la inteligencia artificial, la biotecnología, la neurociencia o la ciencia de materiales. Aunque algunos de estos campos están en sus inicios, otros ya están en pleno desarrollo a medida que se construyen y amplifican mutuamente en una fusión de tecnologías a través de los mundos físico, digital y biológico. Todo esto está conjuntado con las posibilidades de tener muchos millones de personas conectados mediante dispositivos móviles, lo que da lugar a un poder de procesamiento, una capacidad de almacenamiento y un acceso al conocimiento sin precedentes en la historia de la humanidad. Por tanto nos encontramos al principio de una nueva revolución que está cambiando de manera fundamental la forma de vivir, trabajar y relacionarse unos con otros.

Hay cuatro razones por las que las transformaciones industriales actuales no representan una prolongación de la tercera revolución industrial, sino la llegada de una distinta, pues la velocidad de los avances actuales, su alcance e impacto en los sistemas no tienen precedentes en la historia y están interfiriendo en casi todas las industrias de todos los países.



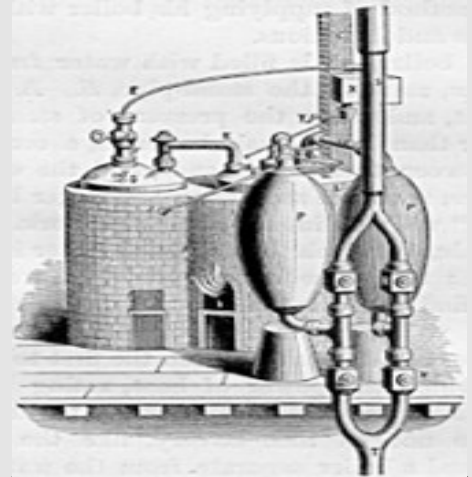
Las revoluciones industriales, fundamentalmente la primera y la segunda, se diferencian por la fuente de energía y/o materia prima que emplean, el motor que la desarrolla y el medio de comunicación que utiliza. Así, en la Primera la materia prima es el carbón, el motor la máquina de vapor y el medio de comunicación el ferrocarril. En la Segunda se emplea la electricidad y el petróleo, los motores son el motor de explosión y el eléctrico y el medio de comunicación el automóvil, mientras que en la Tercera y la Cuarta Revolución Industrial aún no ha aparecido una fuente de energía propia de dichas revoluciones, donde el motor de desarrollo en ambas es el ordenador y el medio de comunicación internet.

El ferrocarril es el medio de comunicación terrestre por excelencia de la Primera Revolución Industrial y se mantiene durante la Segunda Revolución Industrial, primero con la locomotora de vapor y después de mediados del siglo XX con las locomotoras diésel y eléctrica y, aunque a partir de la Tercera Revolución industrial irrumpe el tren de alta velocidad, resulta que el ferrocarril ya no tiene el protagonismo exclusivo que tuvo antes en la Primera Revolución Industrial como medio de transporte terrestre casi exclusivo.

4. La revolución tecnológica de la máquina de vapor

El vapor es la fuente de energía de la Primera Revolución Industrial. Al principio fascinaba a muchos y aterrorizaba a otros. Su utilización, pronto dejó de estar limitada a las fábricas para hacerse accesible a los ciudadanos normales de los países industrializados.

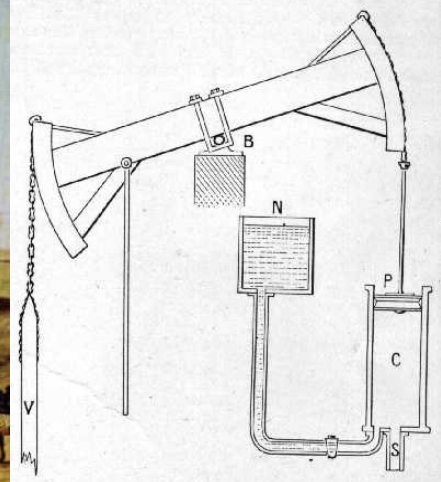
La máquina de vapor debe su desarrollo al descubrimiento del alemán **Otto von Guericke (1602-1686)**, famoso por sus estudios sobre presión, que en el siglo XVII demostró que la presión atmosférica hacía maravillas si se podía conseguir el vacío, pero si éste se había de realizar a mano la faena seguía siendo muy lenta. En el siglo XVI, Gran Bretaña ya no tenía un excesivo número de bosques y el destino fundamental de la madera de sus árboles era la fabricación de barcos, por lo que empezó a generalizarse el uso del carbón de hulla como combustible doméstico, debido a sus grandes reservas. Por tanto, el desarrollo de la minería del carbón de hulla comenzó mucho antes de la Revolución Industrial. De 1558 a 1688 la producción aumentó aproximadamente en un 1.500 por 100 (de 170.000 a 2.500.000 toneladas).



Máquina de vapor de Thomas Savery.

Un gran problema de la extracción del carbón de las minas inglesas era el agua existente en los pozos, que había de achicarse a mano o con animales. Por ello el mecánico inglés **Thomas Savery (1650-1715)** idea en 1698 una máquina para extraer el agua del interior de las minas de carbón. Con el vacío obtenido, llenando un recipiente de vapor y haciéndolo condensar después, podía achicar el agua de los pozos, de forma que hacia el año 1700 se usaba ya en varias minas.

El también inglés **Thomas Newcomen (1663-1729)**, herrero de profesión, mejora el artefacto de Savery y en 1712 construye su máquina de vapor, que operaba a presión atmosférica, pero necesitaba de cilindros muy bien pulimentados en los que pudieran ajustar unos émbolos con suficiente hermetismo, lo cual en dicha época no era fácil de conseguir.

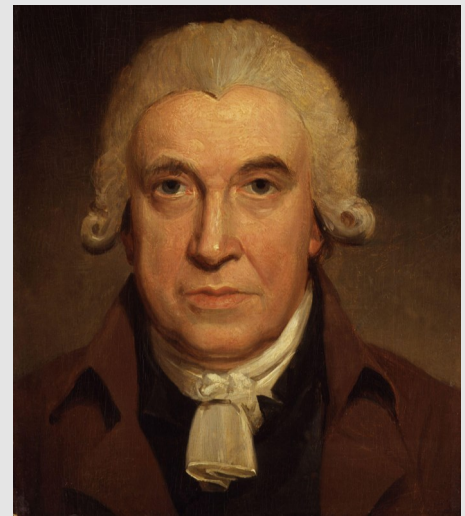


Máquina de Newcomen trabajando en una mina y esquema de dicha máquina.



El principio de la máquina de Newcomen era la creación del vacío en el cilindro, en el cual se impulsaba un pistón por la presión del aire exterior; sin embargo, el vacío se formaba calentando y enfriando alternativamente el cilindro, lo cual suponía un gasto considerable de combustible.

Los defectos de la máquina de Newcomen son remediados por el mecánico escocés **James Watt (1736-1819)**, que concibe la idea de acoplar un condensador independiente, consistente en una cámara agregada al cilindro en la que el vapor podía ser admitido y condensado sin necesidad de enfriar el cilindro. El condensador se podía mantener frío constantemente, mientras que el cilindro se mantenía siempre caliente. De este modo, los dos procesos de calentar y enfriar podían verificarse a la vez. En 1769 Watt patenta su máquina de vapor, que trabajaba más rápidamente y con más rendimiento que la de Newcomen.



James Watt es considerado como el gran ingeniero escocés.

En 1774 crea un mecanismo, accionado por la propia máquina, para inyectar alternativamente vapor a ambos lados del pistón, la llamada máquina de vapor de doble efecto. En 1781 idea el empleo de una manivela para transformar el movimiento oscilatorio del sistema articulado del pistón del cilindro en rotativo, capaz de hacer girar una rueda, y de esta forma la máquina de vapor se convierte en algo más que una simple bomba de agua y se aplicó a una gran diversidad de actividades.



Máquina de vapor de Watt.

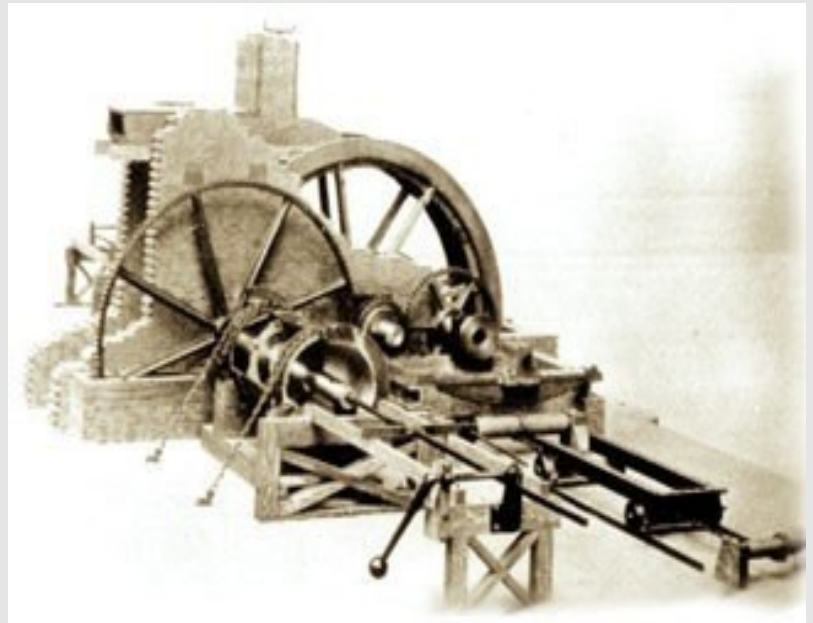
En seguida la máquina de Watt fue usada en las fundiciones de hierro para mover los fuelles que mantenían una corriente de aire en las fraguas y además para mover los martillos que aplastaban el metal. De este modo la máquina de vapor se convirtió en un dispositivo que permitía aprovechar la energía térmica procedente de la combustión de un combustible, como el carbón, realizando un trabajo mecánico.



La máquina de vapor de Watt aparece en el momento justo para ser utilizada por la industria textil, que se encuentra en su fase de mecanización de los procesos de hilado y tejido.

Watt desde el primer momento en que patenta su descubrimiento, se dedica a la fabricación de máquinas de vapor. Al principio las cosas no le van bien porque la construcción de las primeras máquinas de vapor se ve seriamente obstaculizada por la falta de mecánicos hábiles. Watt se lamenta de que los mecánicos le entregan los cilindros tienen un octavo de pulgada más ancho en un extremo que en otro, debido a que las **barrenadoras-mandrinadoras** que se usan están pensadas para fabricar cañones.

La dificultad se supera gracias a los esfuerzos del socio de Watt, el industrial **Matthew Boulton** para crear un grupo de mecánicos capacitados, y al trabajo de técnicos, como **John Wilkinson**, que, en 1775, idea una barrenadora-mandrinadora (máquina-herramienta o máquina diseñada para hacer herramientas u otras máquinas).



La máquina de Wilkinson hacía cilindros para la firma Watt y Boulton, con un error máximo del espesor de una moneda de 6 peniques en un diámetro de 72 pulgadas, tolerancia muy grosera pero suficiente para garantizar el ajuste y hermetismo entre pistón y cilindro de la máquina de vapor de Watt.

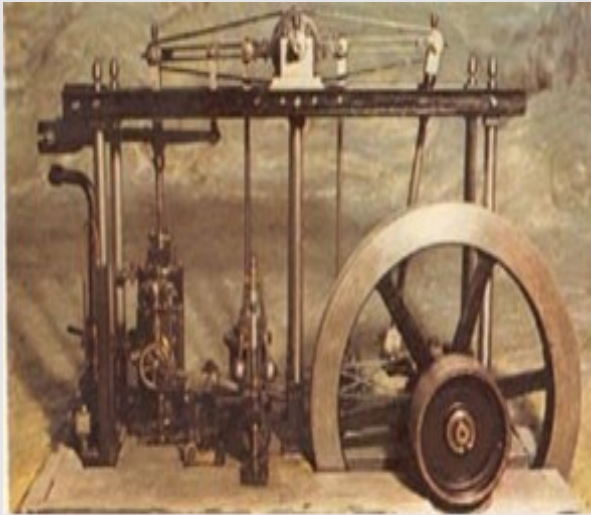
Henry Maudslay fue el principal fabricante de máquinas-herramientas de la época. En 1797 construyó un torno para cilindrar que marcó una nueva era en la fabricación de máquinas-herramientas. Introdujo tres mejoras que permitieron aumentar notablemente su precisión: la construcción de la estructura totalmente metálica, la inclusión de guías planas de gran precisión para el deslizamiento del carro porta-herramientas y la inclusión de husillos roscados-tuerca para el accionamiento de los avances. Elementos mecánicos que siguen siendo esenciales en la actualidad. Para completar el ciclo, Maudslay construyó un micrómetro de tornillo en 1805 para su propio uso que podía medir la milésima parte de la pulgada.

En 1790 las máquinas de vapor de la empresa de Watt y Boulton han desplazado completamente a las de Newcomen y hacia 1800 hay ya unas quinientas máquinas de vapor trabajando por toda Gran Bretaña.

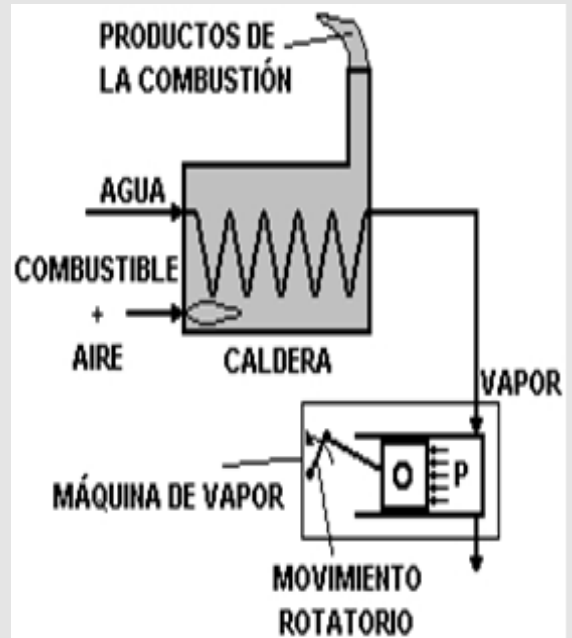
La máquina de vapor fue el aparato que más contribuyó a la expansión de la Revolución Industrial, ya que el uso del vapor no tiene limitaciones geográficas como otras fuentes de energía, como la hidráulica o la eólica de los tradicionales molinos de viento, que se usaban fundamentalmente para moler cereal y obtener harina.

5. Funcionamiento de la máquina de vapor

La máquina de vapor de Watt transforma la energía térmica del vapor del agua, calentado por la combustión de un combustible, como el carbón, en energía cinética de movimiento de rotación, para realizar un trabajo mecánico mediante una serie de mecanismos a través de pistones, bielas, manivelas, volantes, etc.



Máquina de vapor de Watt y un esquema del funcionamiento de la misma.

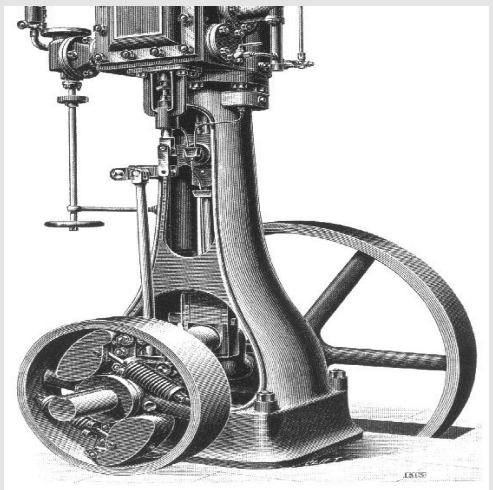


Dicha máquina es un **motor de combustión externa**, ya que el combustible se quema fuera del cilindro en el que se realiza el trabajo. En el ciclo completo seguido por el vapor se pueden distinguir las tres etapas siguientes:

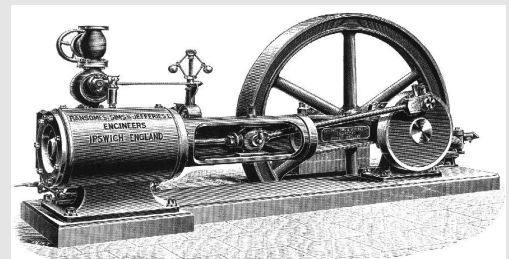
1ª. El vapor caliente procedente de la caldera entre en el cilindro a través de una válvula de entrada.

2ª. Luego el vapor se expande y cede parte de su energía al émbolo o pistón situado en el interior del cilindro.

3ª. Por último, el vapor enfriado es expulsado a través de la válvula de salida con una presión menor que la que tenía al entrar en el cilindro. Este vapor puede ser finalmente expulsado a la atmósfera, como ocurría en las locomotoras de vapor o bien puede ser aprovechado de nuevo, introduciéndolo por una tubería en un condensador donde puede pasar de nuevo al estado líquido y ser dirigido otra vez a la caldera para comenzar otro ciclo.



Máquina de vapor vertical.



Máquina de vapor horizontal.

6. La revolución de los transportes

Las economías preindustriales no desarrollaron un comercio voluminoso ni tampoco unos medios de transporte adecuados. No obstante, los progresos acumulados a lo largo de los siglos XVI, XVII y XVIII crearon condiciones favorables para la Revolución Industrial.

Las rutas comerciales del comercio preindustrial del siglo XVIII abarcaban casi todo el planeta. El transporte resultaba caro y lento, y ello encarecía aún más el precio de las mercancías. A mediados del siglo XVIII, existía un comercio campo ciudad y ciudad campo y se podía colocar mercancías europeas en América o Asia y viceversa a través de las rutas marítimas existentes. Pero



los caminos eran malos y no se reparaban y cuando llovía, se convertían en lodazales por donde era imposible transitar. La navegación fluvial y marítima resultaba más rápida y menos cara que la terrestre, pero no barata. Incluso algunos países europeos conservaban a principios del siglo XIX aduanas interiores que entorpecían los intercambios, porque gravaban las mercancías al pasar de una región a otra. Todos estos obstáculos se suprimieron para que la Revolución Industrial saliera adelante.

En Gran Bretaña, los viejos caminos y los ríos bastaron en un primer momento para que los mayores excedentes de alimentos y de materias primas llegaran a las ciudades y para que la mayor producción de la industria llegase al campo. Pero pronto resultaron incapaces de asegurar rapidez y baratura a unos intercambios cada vez más voluminosos. Hubo que construir mejores caminos y, sobre todo, Gran Bretaña se llenó de canales que crearon un comercio interior rápido y barato. Los canales que atravesaban muchas regiones europeas fueron de importancia vital para el transporte de mercancías pesadas.

Las mejoras en el transporte de mercancías viene por un lado, por la construcción de mejores caminos y de canales, y por otro de la mejora del transporte terrestre con la aparición del ferrocarril y el transporte marítimo con la utilización primero de los **clippers** y luego de los barcos de vapor.

Las técnicas de navegación no habían progresado durante el siglo XVIII, de manera que en un primer momento bastó con aumentar el número de barcos a vela para dar entrada y salida al mayor volumen de mercancías. Luego hubo que lograr más rapidez y baratura en el transporte marítimo, lo que se consiguió sustituyendo los pesados veleros que tardaban 40 días en cruzar el Atlántico y cuyo tonelaje rara vez superaba las 100 toneladas por los clippers, veleros mucho más largos que anchos, con mayor capacidad de carga y tan veloces como para hacer la travesía Europa América en 14 días.



El **clipper** fue el buque por excelencia de mediados del siglo XIX, la culminación de la vela, en reñida competencia con los buques de vapor. La mejora de los cascos y de las velas hacía que estos elegantes barcos corrieran como yates por los océanos, compitiendo entre sí por hacer los viajes cada vez en menos tiempo.



El vapor como método de propulsión de los buques no se impuso de inmediato a la vela por varias razones.

En primer lugar, el viento que impulsaba las velas era gratuito, a diferencia del carbón. Por otra parte, las ruedas laterales que impulsaban a los primeros vapores se comportaban mal en los viajes oceánicos. Por ello, las máquinas de vapor se usaron al principio como simples medios auxiliares de las velas.

La Revolución Industrial creó grandes excedentes para vender. Los mayores rendimientos de la tierra hicieron que las regiones agrícolas produjeran mucho más de lo que podían consumir. Lo mismo sucedió en las regiones industriales, como consecuencia de su mayor productividad. El aumento de los excedentes elevó la cantidad de mercancías intercambiadas entre regiones de un mismo país o entre distintos países. Un comercio cada vez más voluminoso exigió renovar los medios de transporte. Era preciso lograr un tráfico abultado, rápido y barato, si no el crecimiento económico se estrangularía, al no poder colocarse los excedentes en mercados lejanos.



Durante la primera mitad del siglo XIX, aparecieron barcos con ruedas de palas movidas a vapor, que resultaron eficaces en los ríos, pero no en el mar.

Se tenían que llevar las materias primas hasta las fábricas y había que vender los artículos que se producían en un mercado disperso, por lo que era necesario contar con nuevos y mejores medios de transporte, que hiciesen uso de las nuevas fuentes de energía y de las nuevas máquinas. Así surgió el ferrocarril y los barcos de vapor.

La construcción de ferrocarriles revolucionó la forma de viajar y transportar mercancías en todo el mundo. En Estados Unidos, las costas este y oeste quedaron enlazadas por tren en 1869. Pero el progreso tecnológico no se detuvo aquí: dio un gran salto adelante después de 1850, cuando se generalizó el empleo de la energía de vapor tanto en el transporte terrestre como en el marítimo.

7. La locomotora de vapor

Antes de la aparición del ferrocarril los transportes tenían su fuerza motriz en los animales o en las fuerzas naturales. Esto producía una gran lentitud en los desplazamientos e incrementaba los gastos por la inseguridad de los caminos y la frecuencia de los accidentes.

La **locomotora de vapor** es un vehículo autopropulsado, que es impulsado por la acción del vapor de agua. Las locomotoras de vapor son la forma de tracción en los ferrocarriles hasta que a mediados del siglo XX son reemplazadas por las locomotoras diésel y eléctricas.

El ferrocarril aparece en una época en la que Gran Bretaña es ya una nación industrial relativamente desarrollada. Los primeros ferrocarriles empleaban caballerías para arrastrar carros sobre raíles en las minas de carbón. Cuando se desarrolló la máquina de vapor, se trató de aplicarla a tal menester y los primeros intentos de aplicar la energía del vapor a la tracción datan de principios del siglo XIX. Así, el ingeniero de minas inglés **Richard Trevithick (1771-1833)** construyó en 1804 la primera locomotora, que arrastró, sobre raíles de hierro, vagones que antes eran tirados por caballos.

Trevithick fue el primero que concibió la idea de hacer una máquina de vapor de alta presión y montarla sobre ruedas, que fue capaz de arrastrar cinco vagones con 10.000 kg de hierro y setenta personas a 8 km/h. La locomotora tenía un solo cilindro, disponía de un volante de inercia y la transmisión de fuerza a las ruedas se realizaba por engranajes. Pero, la locomotora de Trevithick no fue incorporada al ferrocarril debido a que los raíles de hierro fundido no soportaron el peso de la máquina y se dañaron en los tres viajes de prueba realizados entre las minas de hierro de Penydarren y el canal Methry-Cardiff.

Por ello, se continuó utilizando la fuerza animal para el arrastre de los vagones, hasta que la escasez de caballos y sus altos costos a consecuencia de las guerras napoleónicas obligó a volver la mirada otra vez hacia las locomotoras. En 1811, el ingeniero inglés **John Blenkinsop (1783-1831)**, que fue director de minas, patentó el sistema de cremallera para locomotora.

En 1812, el fabricante inglés **Matthew Murray (1765-1826)** diseñó y construyó la primera locomotora de vapor, la "Salamanca", comercialmente viable. Era de dos cilindros y montaba el sistema de cremallera patentado por John Blenkinsop, solucionando el problema del peso de la máquina. Si la locomotora era demasiado ligera no tenía suficiente adherencia, sus ruedas motrices patinaban y no conseguía arrastrar la carga. Por el contrario, si la máquina pesaba demasiado, mejoraba la adherencia pero dañaba los raíles.



Locomotora de Trevithick.





La “Salamanca” solucionaba estos inconvenientes, tenía dos ruedas dentadas que engranzaban con los dientes de la vía. Funcionó con éxito entre Middleton y Leeds, donde estaba la vía férrea más antigua del mundo, fundada en 1758 para arrastrar vagones con caballos.



Locomotora Salamanca. La mina de carbón de Middleton y la locomotora Salamanca.

Continuando las experiencias, otro inglés, el ingeniero **George Stephenson** (1781-1848) entre 1814 y 1829 diseñó varios modelos de locomotoras y la más perfeccionada recibió el nombre de Rocket y logró alcanzar una velocidad media de 24 km/h y 40 CV de potencia.

Sin embargo, a pesar de la victoria de Stephenson, hubo que resolver muchos problemas de ingeniería antes de que los caminos de hierro pudieran desempeñar un papel importante en el transporte. Por ejemplo, las ruedas con pestañas que se usaban para mantener y unir los vagones en la vía, se subían sobre los raíles en las curvas, y tuvo que transcurrir un tiempo antes de descubrirse que las ruedas debían quedar holgadas sobre los carriles y que podían acoplarse a dispositivos giratorios debajo de los vagones. También los frenos dejaban mucho que desear, presionaban contra las ruedas y no fueron seguros y de fácil manejo hasta que George Westinghouse perfeccionó el freno de aire comprimido (1886). Además los enganches tenían tanto juego que al arrancar el tren los vagones recibían fuertes sacudidas, sobre todo los últimos, que los viajeros eran violentamente proyectados hacia atrás.

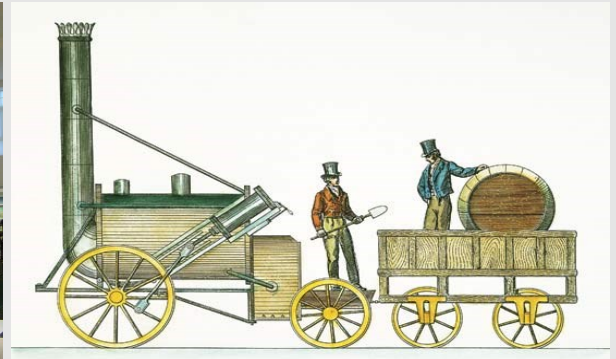


Finalmente, en 1825 fue abierto al público el primer ferrocarril a vapor: un conjunto de vagones arrastrados por una locomotora que cubrió la distancia de 13 km que separa las poblaciones inglesas de Stockton y Darlington.

La Rocket es la primera locomotora de vapor que introduce innovaciones, que luego son empleadas en casi todas las locomotoras construidas desde entonces. Así, empleaba una caldera multitubular, que fue propuesta por **Henry Booth** (1788-1869) y que era mucho más eficaz para transferir el calor de los gases de la combustión al agua. Las calderas anteriores consistían en una sola tubería rodeada de agua. También utilizaba una tobera de salida del vapor de escape para crear un vacío parcial que tirara del aire que alimentaba el fuego.



En 1830 se inaugura la línea Liverpool-Manchester, diseñada por el propio Stephenson, incluido su material rodante. También es el creador del ancho de vía de 1435 mm (aproximadamente 4 pies 8 1/2 pulgadas), conocido como ancho de vía estándar. Dicha línea aseguró el tráfico regular de mercancías y pasajeros entre ambas localidades.



El éxito de la línea de Manchester-Liverpool elimina los obstáculos que se oponían al desarrollo de la nueva forma de transporte, y Stephenson logra demostrar la posibilidad de la locomoción a vapor no sólo desde el punto de vista técnico, sino también desde la óptica económica. A partir de entonces, los progresos en la construcción fueron rápidos.

Uno de los principales problemas de las locomotoras, es su excesivo peso para la fragilidad de los raíles de hierro colado, lo que se solventó cuando se empleó hierro forjado en la fabricación de éstos. Más adelante se hacen de acero, lo que contribuye a aumentar su solidez y duración. En cuanto a la velocidad, de los 28 km/h del tren Manchester-Liverpool se pasó, en la década de 1850, a alcanzar casi los 100 km/h.

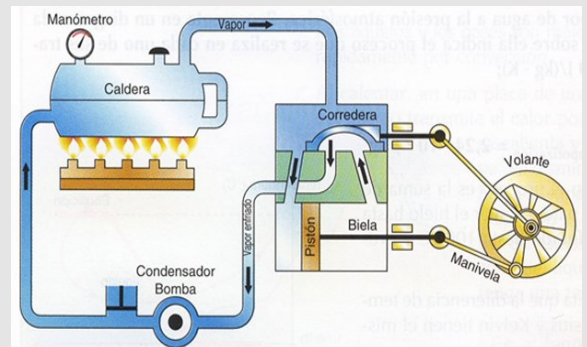
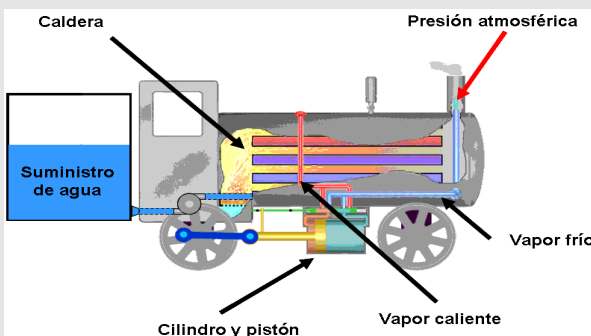
El hijo, **Robert Stephenson (1803-1859)** fue un excelente constructor de locomotoras. Sólo un año más tarde, en 1830, Robert diseñó la locomotora Planet, mucho mejor que la Rocket, lo que fue el motivo de diferencias entre padre e hijo, que llevaron a que en 1833 Robert aceptara el puesto de Ingeniero Jefe de los ferrocarriles "London and Birmingham Railway". Fue un destacado ingeniero de ferrocarriles que construyó muchas líneas, en Inglaterra y en otros países europeos, y las infraestructuras necesarias para ellas, incluidos puentes y viaductos.



7.1. Características de una locomotora de vapor

Las partes esenciales de una locomotora de vapor son:

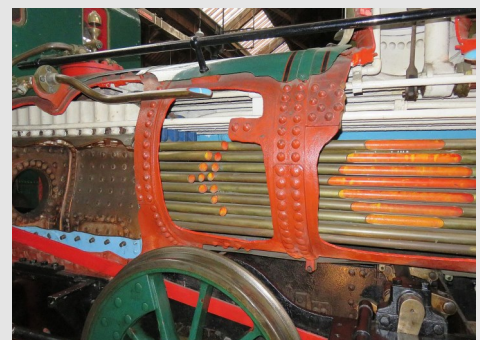
- El **carbón o la leña** que son los combustibles que se queman para calentar agua.
- El **agua** contenida en un depósito, que al calentarse produce vapor.
- La **caldera** horizontal cilíndrica con el hogar en la parte posterior. Está parcialmente dentro de la cabina, que protege de las inclemencias meteorológicas a los operarios que trabajan en la misma para conducir la locomotora.
- Un **pistón** que sube y baja por la fuerza del vapor y una rueda que gira con el impulso del pistón.



Una locomotora de vapor se maneja al menos por un maquinista, que es responsable de controlar la locomotora y del tren en su conjunto y un fogonero, que es responsable del control del fuego en la caldera, de la presión del vapor y de la existencia de agua.

El **hogar** es el lugar donde se quema el combustible y está formado por cuatro paredes laterales y un techo al que se llama cielo. En la base se encuentra la **parrilla o quemador**, sobre el que se deposita el combustible, y bajo la parrilla, una caja o **cenicero** para recoger las cenizas y la boca por la que entra el aire para la combustión.

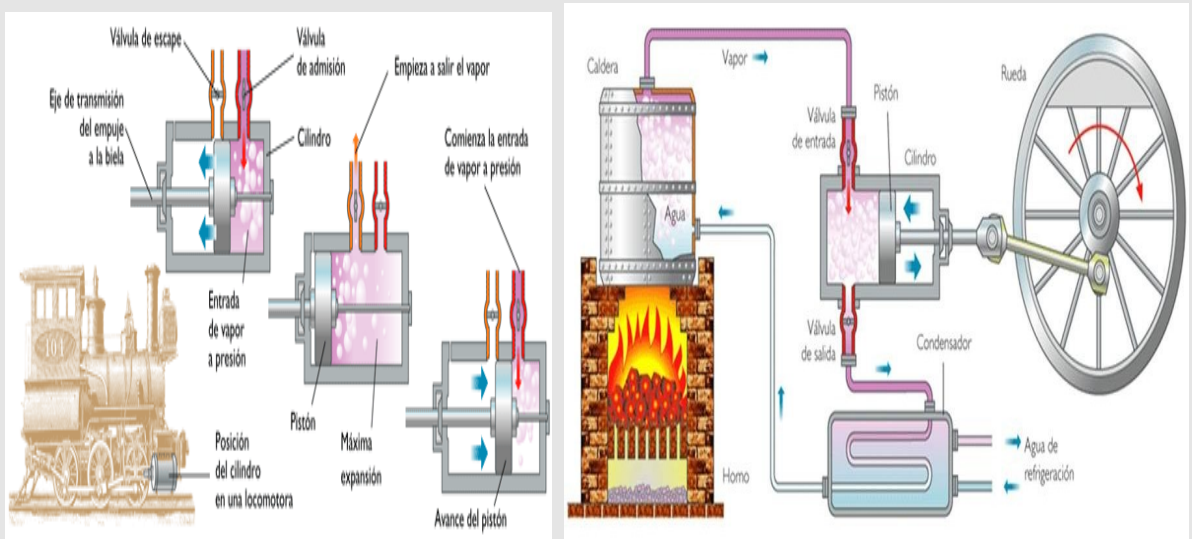
Los humos del hogar salen por una serie de tubos situados longitudinalmente dentro de la caldera y rodeados de agua, a la que transmiten el calor. El conjunto de tubos se denomina **haz tubular**, y algunos de ellos mayor diámetro contienen en su interior otros más finos por los que discurre vapor para ser recalentado y aumentar así la potencia de la locomotora.



En la parte frontal de la caldera está la **caja de humos**, a donde va a parar el humo tras haber pasado por los tubos del haz, antes de salir por la chimenea, que sobresale en la parte superior. El vapor se recoge en la parte más alta de la caldera a través de un tubo perforado, situado por encima del nivel del agua o bien por un **domo** (cúpula en la parte superior). El vapor sale de la caldera a través de un **regulador**, que es el dispositivo con el que el maquinista regula la cantidad de vapor que sale de la caldera para su posterior distribución.



Cuando el regulador está abierto, el vapor se dirige al **cilindro** (normalmente hay varios cilindros) mediante una **válvula de entrada**, donde una pieza móvil, la **corredera**, al deslizarse alternativamente a uno y otro lado, hace que el vapor se dirija, a su vez, alternativamente a uno y otro lado del pistón dentro del cilindro y se origina un movimiento alternativo de vaivén del pistón, a uno y otro lado y se acciona la rueda motriz principal a través de una barra llamada **vástago del pistón**, que se articula con el pie de biela. La biela va conectada en el otro extremo a una clavija excéntrica en la rueda motriz principal, a la que hace girar mediante un movimiento de manivela.



El vapor escapa del cilindro después de haber impulsado el pistón, va a la caja de humos, donde se libera a través de una tobera enfocada a la chimenea, por donde sale junto con el humo, creando un vacío al salir, que favorece el tiro del hogar. Las ráfagas sucesivas del vapor de escape son las que producen el sonido "chuf, chuf" de las locomotoras de vapor.

La caldera descansa sobre un armazón llamado **bastidor o chasis**, en el que se montan los cilindros y que a su vez descansa sobre los ejes. Los ejes motrices se montan sobre cojinetes que pueden desplazarse arriba y abajo en el bastidor. Están conectados a él por medio de ballestas o por suspensiones de muelles, que permiten a los ejes cierto grado de movimiento independiente para suavizar el efecto de los altibajos de la vía.

La mayoría de las locomotoras van acopladas a un **ténder**, que transporta el agua y el combustible; pero otras llevan el combustible y el agua directamente en la propia máquina, llamadas locomotoras tanque, por los prominentes tanques para el agua que llevan en la parte superior o en los costados de la caldera. Las locomotoras de vapor consumían enormes cantidades de agua y reponerla era un problema de logística constante. El método convencional de suministrar agua a una locomotora era rellenando los tanques desde surtidores instalados en las estaciones. Por ello, las estaciones de ferrocarril estaban equipadas con una torre piezométrica y una o más columnas de suministro de agua.



En la cabina de la locomotora hay varios dispositivos: válvulas, palancas y medidores en relación: a) al control del comportamiento de la caldera y b) a la conducción del tren.

Las locomotoras tenían su sistema de frenado independiente del resto del tren. Utilizaban grandes **zapatas** que presionaban contra la superficie de las ruedas motrices.

A partir de 1900 comienza a utilizarse vapor recalentado en las locomotoras. La forma habitual de conseguirlo es conducir el vapor desde la cúpula a una cabecera del recalentadores, dentro de la caja de humo. El vapor se dirige desde allí por un grupo de tubos delgados, que discurren por el interior de tubos de humo grandes, dentro de la caldera, para volver después a una segunda cabecera del recalentadores, desde donde se envía al cilindro. El recalentamiento produce un aumento enorme de la eficiencia y ha sido la norma de las locomotoras de vapor del siglo XX.



En la caja de humos, el vapor es expulsado del cilindro por la tobera de escape hacia la chimenea y produce una depresión que es transmitida a través de los tubos calentadores de la caldera hasta el hogar, avivando el fuego. Cuando la locomotora marcha con el regulador cerrado o está parada, no hay vapor de escape, siendo nula la generación de depresión, el fuego del hogar baja su intensidad, disminuye la cantidad de vapor producido y cae la presión en la caldera. Para evitar este inconveniente, está el **ventilador** en forma de tubo en torno a la tobera de escape con unos orificios a su alrededor. El tubo está conectado a una toma de vapor vivo y es gobernado por una válvula instalada en la cabina. Cuando es accionada, sale por los orificios del ventilador un cono de vapor que origina nuevamente la depresión. Otra aplicación del ventilador es cuando se procede al encendido de la caldera para avivar el fuego y conseguir presión más rápidamente.



Los pistones y las válvulas de las locomotoras se engrasaban por el maquinista con la locomotora parada, vertiendo un poco de grasa para la tobera de escape del vapor en la caja de humo. Cuando aumenta la velocidad y las distancias entre paradas, se diseñan mecanismos para inyectar aceite en la corriente de vapor que se dirigía a los cilindros.





Las locomotoras cuentan con enganches delante y detrás para adaptar los vagones a remolcar. Generalmente se colocaron toques en los extremos de las locomotoras para absorber los impactos menores y proporcionar un apoyo para los esfuerzos de empuje. En América se dispuso en el extremo frontal una estructura metálica inclinada, destinada a desviar los posibles obstáculos que pudieran encontrarse delante del tren. Originariamente fue bastante grande y tenía el propósito de tirar fuera de la vía a cualquier vaca, por lo que fue llamado "aparta vacas".



Cuando las locomotoras comenzaron a operar de noche, las compañías de ferrocarril equiparon a las locomotoras con luces para que el maquinista pudiera ver lo que hubiera delante del tren o porque la locomotora fuera vista. Originariamente las luces frontales fueron candiles de aceite o lámparas de acetileno, pero cuando se pudo disponer de iluminación eléctrica, ésta desplazó a los antiguos candiles, disponiéndose pequeños generadores eléctricos accionados por el vapor.

En algunas ocasiones era necesario mejorar la adherencia de las ruedas motrices y evitar que patinara sobre los raíles, como por ejemplo cuando existía hielo sobre ellos o al iniciar la locomotora su marcha. Para ello se recurría a verter arena sobre el raíl. La arena era conducida desde un depósito **arenero** por medio de un conducto que la depositaba justo delante de la rueda en el sentido de la marcha. Como era conveniente que la arena se encontrara seca para evitar atascos, en muchas locomotoras se dispuso el depósito arenero sobre la caldera, en las llamadas cúpulas areneros, porque el calor la conservara seca, al tiempo que se mantenía alejada de la maquinaria.

Desde sus primeros tiempos se equipó a las locomotoras con **campanas y silbatos**. Las campanas fueron más propias de los Estados Unidos y Canadá, para advertir del movimiento del tren. Los silbidos de los silbatos se utilizaban para dar señales a los empleados y advertir del peligro a las personas cercanas a la vía.

Entre las infraestructuras necesarias para el mantenimiento de una línea de ferrocarril estaban los depósitos y garajes, en los cuales siempre estaban presentes las **plataformas giratorias** para entrar en las cocheras. En zonas montañosas o en las que el mantenimiento de plataformas era problemática, se hicieron configuraciones en las vías, en forma de triángulo o estrella, más compactas que las mismas plataformas, pero válidas para el mismo fin.



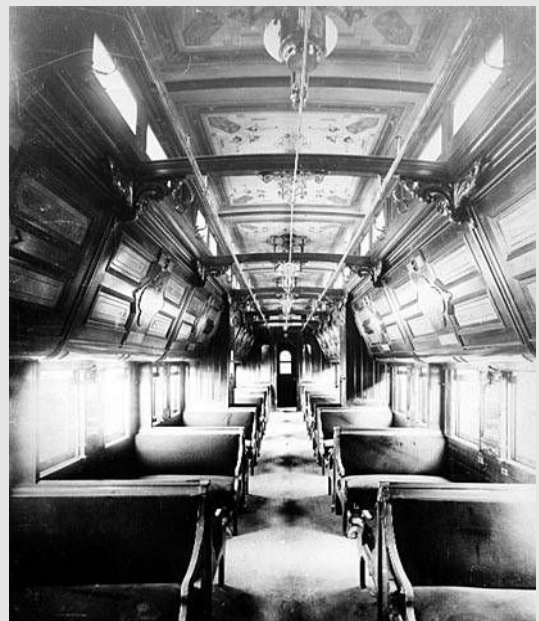
7.2. Evolución del ferrocarril desde la mitad del siglo XIX hasta el siglo XX

En 1850 hay en circulación en Gran Bretaña 6.620 millas, construcción que corre a cargo de empresas privadas, que comienzan a fusionarse a partir de 1850, aunque en 1853 es cuando los dos grandes grupos ingleses, el Midland y el London and North Eastern, proponen su unión, pero el Parlamento les niega su sanción ante el temor de que dicha fusión cree un monopolio. No obstante, el gobierno británico se ve después impotente para evitar que las compañías ferroviarias se unan por medio de convenios de trabajo, división proporcional de ingresos por tránsito y acuerdos sobre tarifas. Unos años después, el Parlamento inglés intenta fijar las tarifas máximas a través de la Comisión de Ferrocarriles.

A mediados del siglo XIX se construyen muchos kilómetros de vía férrea, y en torno a 1850 el ferrocarril de vapor llega ya a todos los continentes. Pero para ello, la construcción de ferrocarriles necesitó de grandes inversiones de capital. Aunque los ferrocarriles ingleses son financiados por compañías privadas, en los demás países europeos y en los Estados Unidos, es el Estado quien fomenta la creación de la infraestructura ferroviaria, dando a las empresas privadas terrenos gratuitos y ayudas financieras.

La construcción de nuevos ferrocarriles revoluciona la forma de viajar y transportar mercancías en todo el mundo. En Estados Unidos, las costas este y oeste quedan enlazadas por tren en 1869.

El triunfo del ferrocarril se basó en que abarató notablemente el transporte, facilitó las comunicaciones y contribuyó a modificar los hábitos de las personas, al convertir el viaje en algo asequible. Paulatinamente el acento deja de ponerse únicamente en el aspecto técnico, se pone énfasis en que los convoyes ferroviarios destinados al transporte de pasajeros ganen en comodidad, algo absolutamente necesario para los trayectos de larga duración. En este sentido, la construcción del **Pioneer**, un vagón de gran amplitud y con altos niveles de confort, ideado en 1863 por el norteamericano **George Pullman**, marca un avance decisivo. Llegan después los vagones-restaurante y los co-



Interior del vagón Pioneer de 1891.

7.3. Tipos de locomotoras de vapor

Desde la primera época hasta mediados del siglo XX hay grandes cambios en la forma de construcción de las locomotoras. El gran desarrollo en tamaño y en potencia de la locomotora es paralelo, naturalmente, al desarrollo que experimenta todo lo concerniente al ferrocarril. Desde mediados del siglo XIX, las empresas de líneas de ferrocarril encargan a los múltiples fabricantes especializados de locomotoras que había, locomotoras adaptadas a sus necesidades. Pero las líneas de ferrocarril también tenían talleres propios, capaces de acometer reparaciones de gran envergadura y algunos fabricaron en ellos sus propias locomotoras. Asimismo era corriente que una empresa de ferrocarril vendiera locomotoras a otras empresas distintas. Las locomotoras de vapor fueron construidas con una variedad de formas y arquitecturas que probablemente no se ha visto en cualquier otro tipo de ferrocarril.

En Norteamérica destaca la compañía **Baldwin Locomotive Works** y en poco tiempo tuvo competidores. Hasta 1921, la Compañía Baldwin, construyó por sí sola 55.000 locomotoras.

Un fabricante de locomotoras muy importante fue la empresa Beyer, Peacock and Company Limited, que fue fundada en Inglaterra en 1854 y mantuvo su negocio hasta 1966. Fue fundada por Charles Beyer, Richard Peacock y Henry Robertson. Entre 1854 y 1966, la compañía construyó cerca de 8.000 locomotoras ferroviarias. Esta empresa exportó locomotoras y máquinas-herramienta para atenderlas en todo el mundo.

Un modelo importante fue la **locomotora articulada Garratt** muy utilizada en los ferrocarriles del sur y del este de África y Australia. Una **locomotora articulada** es una locomotora de vapor con una o más unidades motrices, las cuales se pueden mover en forma independiente del cuerpo principal. Esto se hace para permitir a las locomotoras más largas tomar curvas cerradas en trazados sinuosos y con fuertes rampas donde se requería la máxima potencia y esfuerzo de tracción de las locomotoras.

También de esta empresa son famosas las **locomotoras tanque** usadas en los ferrocarriles metropolitanos (subterráneos) y de distrito en Londres desde 1864 hasta la electrificación en 1905.



Locomotora de vapor del tipo Beyer-Garratt (nombre que responde a la unión entre el apellido del inventor del sistema, Herbert William Garratt, y el nombre de la fábrica constructora de locomotoras Beyer Peacock).



Locomotora tanque.



El esplendor del tren de vapor tiene lugar en los decenios siguientes, y entre 1910 y la década de 1930, vivió su periodo de mayor auge al mantener el ferrocarril su primacía en el transporte terrestre en ese período, de pasajeros y de mercancías.

Entre las locomotoras que marcaron un hito en la tracción vapor están:

- Los distintos modelos de la **Pacif**, construidos tanto en América como en Europa bajo distintos fabricantes, siendo la más famosas de todas las locomotoras la **Pacific 231**. Este tipo de locomotora fue utilizada para trenes de pasajeros y por todas las compañías ferroviarias del mundo desde principios de siglo XX hasta mediados de la década de 1960. Muchas de estas locomotoras se caracterizaban por su capacidad de mantener por largos trayectos velocidades superiores a 120 Km/h y algunas podían desarrollar velocidades cercanas a los 180 km/h.



Pacif 231.

- La **Union Pacific 3985** es una locomotora de vapor articulada de cuatro cilindros tipo Challenger propiedad del Union Pacific Railroad y construida por la American Locomotive Company (ALCO), a la que siguió la locomotora **Big Boy** construidas también por ALCO para la Union Pacific Railroad construidas entre 1941 y 1944.



Union Pacific 3985 tipo Challenger.

Después de la introducción de la primera locomotora tipo Challenger en 1936, la Union Pacific Railroad necesitaba una locomotora con una mayor potencia y fuerza de tracción sostenida para eliminar la necesidad de usar dos locomotoras y ayudar en la operaciones en las pendientes del este de Utah y en el oeste de Wyoming. Se reexaminaron el diseño original de las Challenger y encontraron que incrementando el tamaño del hogar, alargando la caldera, agregando cuatro ruedas motrices y reduciendo el tamaño de éstas, la locomotora deseada era posible.



Big Boy.



- La **locomotora Santa Fe**, conocida así porque la primera compañía que la desarrolló fue Atchinson-Topeka-Santa Fe de Estados Unidos. Era una locomotora potente adaptada al recorrido de trayectos con orografías accidentadas y capaz de vencer los obstáculos montañosos de las cordilleras. Por ello tuvo una gran aceptación en España. Las locomotoras Santa Fe fueron las más potentes que existieron en Europa.



- La **locomotora Mikado** es una de las locomotoras de vapor más versátiles y usadas durante casi un siglo a lo ancho y largo del globo. Fue desarrollada a finales del siglo XIX a partir de la Consolidation (2-8-0) y de la Prairie (2-6-2). Las Mikado se construyeron en todos los tamaños, pero la mayoría eran locomotoras relativamente pesadas. La empresa americana de material ferroviario "Baldwin Locomotive Works", entregó las primeras Mikado en 1893 para Nihon Tetsudo, de Japan Railways.



Casi todas las Mikados fueron diseñadas como locomotoras de carga. La Union Pacific ordenó una tirada especial para el servicio de pasajeros en las montañas, y en la medida en que se fue adquiriendo más capacidad para pasajeros, éstas fueron devueltas al servicio de carga. Esta locomotora también tuvo su servicio en España.

- Las **locomotoras Confederación**, que por sus dimensiones, prestaciones y por su desarrollo técnico, esta locomotora está considerada como el cénit de la tracción vapor en España. Con una potencia de 2.700 CV, llegó a superar en pruebas la velocidad de 140 km/h, récord de la tracción vapor en España. Sólo se fabricaron diez locomotoras de este tipo en 1955 y prestaron servicio en los trenes expresos y rápidos de la línea de Madrid a Irún, donde llegaron a remolcar composiciones de 18 coches y hasta 810 toneladas. Fueron fabricadas por la MTM (Maquinista Terrestre y Marítima) y fueron las únicas locomotoras de Renfe que se pintaron de verde.





8. El esplendor en los viajes por ferrocarril

- El cambio que supuso la utilización de forma masiva del ferrocarril en los medios de transporte terrestre tuvo las siguientes importantes consecuencias económicas:
- Se logró que el aumento de los excedentes agrarios e industriales pudiera colocarse con facilidad en los mercados de un mismo país o en los mercados internacionales.
- Permitió a las ciudades alimentarse sin crisis de abastecimiento.
- Facilitó la posibilidad de colocar los excedentes en mercados lejanos a precios bajos, lo que originó una especialización de regiones enteras y, por consiguiente, se incrementó la producción total de todo tipo de bienes de equipo.
- Teniendo en cuenta que los ferrocarriles absorben gran cantidad de hierro, madera y carbón, hay que decir que los suministros de carbón y de materia primas se realizaron de forma regular y a bajo precio.
- Para los viajeros, el precio del billete se redujo mucho.

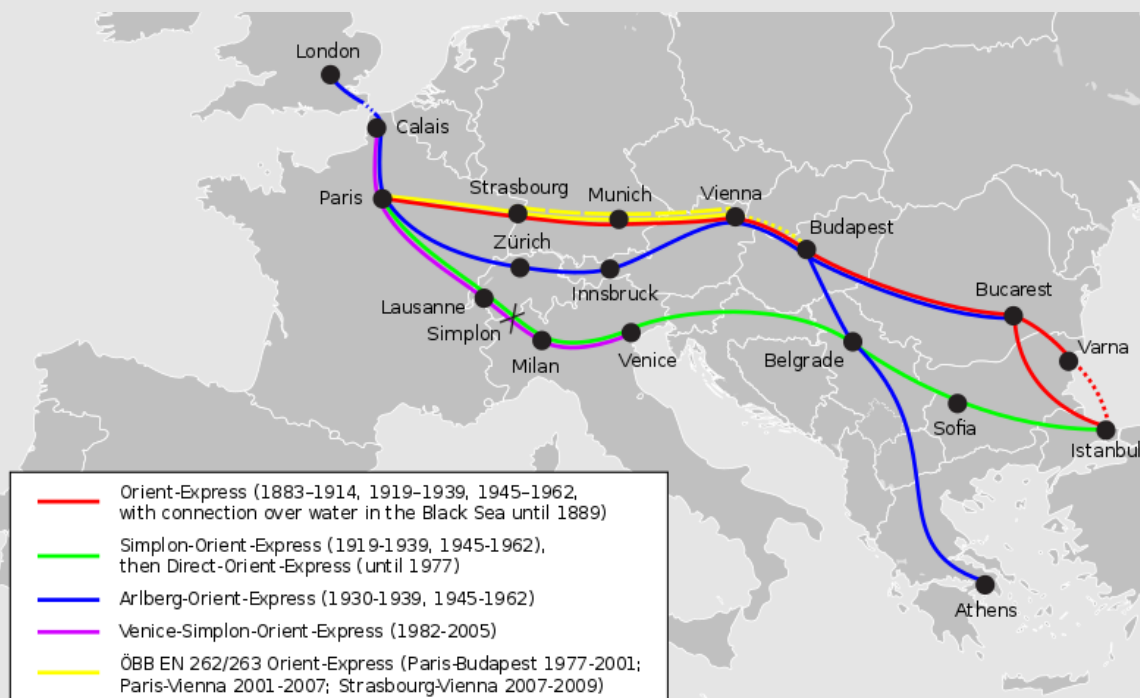
Todo ello hizo que el ferrocarril se convirtiera en el medio de transporte por excelencia en la época victoriana y en el período entre guerras del siglo XX, tanto para cubrir las necesidades básicas de las personas, como para que la alta burguesía y la aristocracia pudieran recorrer distintos países en viajes de placer.

8.1. El Orient Express

La idea de crear un servicio de pasajeros que uniese Europa Occidental con el Sudoeste Asiático surgió del banquero belga Georges Nagelmackers, creador en 1872 de la francesa Compagnie Internationale des Wagons-Lits (CIWL). Esta compañía fue la primera que introdujo en Europa los coches cama y vagones restaurante en los trenes (idea que había sido puesta ya en práctica en Estados Unidos por George Pullman).

El 4 de octubre de 1883, el “**Orient Express**” (Expreso de Oriente) sale en su primer viaje oficial, con periodistas y pasajeros que incluían desde millonarios burgueses hasta miembros de la aristocracia europea, que se muestran maravillados por el lujo y la belleza del tren y se sienten como si estuviesen en uno de los mejores hoteles de Europa: paneles de maderas nobles, sillones de cuero de lujo, sábanas de seda y mantas de lana para las camas.





En su mayor auge, el tren unía París con Constantinopla (hoy Estambul) en un poco más de 80 horas. Desde su inauguración hasta nuestros días, su ruta fue alterada varias veces, sea por logística o por asuntos políticos. En esa época, el tren salía dos veces por semana de la estación del Este (Gare de l'Est) de París y terminaba en la ciudad de Giurgiu, en Rumania, pasando por Estrasburgo, Múnich, Viena, Budapest y Bucarest. De Giurgiu, los pasajeros eran transportados a través del Danubio hasta la ciudad de Ruse, en Bulgaria. De allí otro tren los llevaba hasta Varna, donde podían tomar un transbordador hasta Estambul.

En 1889 se termina la línea hasta la propia Estambul y había un servicio diario de París hasta Budapest. Tres veces por semana el servicio de trenes se extendía hasta Estambul, pasando por Belgrado y Sofía. Desde Budapest, una vez por semana, el servicio iba hasta Constanza, en el Mar Negro, pasando por Bucarest.

En 1914, el servicio del Orient Express fue interrumpido y las operaciones volvieron a su normalidad en 1918. En 1919 se inaugura el túnel Simplon, que une Suiza con Italia y posibilita así una ruta alternativa hasta Estambul. Se inaugura de esta forma el servicio “**Simplon Orient Express**”, que pasa (luego de salir de París) por Lausana, Milán, Venecia y Trieste, uniéndose a la ruta original en Belgrado. Una de las características de este nuevo trayecto consiste en el hecho de que Alemania es evitada, hecho que era una ventaja para los países aliados vencedores de la Primera Guerra Mundial, pues aún no tenían total confianza en los alemanes. Una de las cláusulas del Tratado de Versalles definía que Austria debía permitir que los trenes pasaran por Trieste porque anteriormente los trenes internacionales que llegaban a territorio austríaco, eran obligados a pasar por Viena.





En la década de 1930 se alcanza el auge máximo, con tres servicios atravesando Europa: el Orient Express original, el Simplon Orient Express, y el nuevo “**Arlberg Orient Express**”, con el trayecto París-Budapest pasando por Zúrich e Innsbruck, con vagones siguiendo rumbo hasta Bucarest o hasta Atenas. En esta época Londres ya contaba con los servicios del Simplon y los pasajeros salían en tren con la British Southern Railway desde la estación Victoria hasta Dover, donde tomaban un ferry hacia Calais. A partir de allí seguían en tren hasta París, donde los vagones se acoplaban al Simplon.

Durante la Segunda Guerra Mundial se interrumpen todos los servicios y el servicio fue reabierto en 1951, sin embargo surge otro obstáculo: la frontera entre Bulgaria y Turquía fue cerrada entre 1951 y 1952, bloqueando el camino hasta Estambul. Además, los países de Europa del Este bajo dominación comunista terminan por cambiar los vagones de la Wagon-Lits por sus propias versiones, causando una considerable merma en la calidad del servicio.

En 1962 tanto la ruta original del Expreso como el Arlberg Orient Express quedan fuera de circulación, de modo que apenas quedó el Simplon Orient Express, que fue sustituido ese mismo año por un servicio más lento llamado **Direct Orient Express**, que ofrecía salidas diarias hasta Belgrado (pasando por la misma trayectoria del



Simplon), desde donde salía para Estambul y Atenas dos veces por semanas. En 1971, la Wagon-Lits (CIWL) decidió actuar solamente prestando servicio en los trenes, vendiendo o alquilando sus vagones para varias compañías europeas.

Con el paso de las décadas, los lujos del tren van decayendo, con el objetivo de abaratar costes y poder competir con los viajes en avión. De esta forma, en la segunda mitad del siglo XX, el Orient Express agoniza lentamente, alejándose de sus años de esplendor hasta que, en 1977, se despidió de la historia por primera vez, pues el Direct realiza su último viaje entre París y Estambul.

La decadencia, los problemas políticos y el alto coste de esta línea férrea hacen que el final de la estela de este tren se vea, sobre todo, colapsada por la presencia de la entrada en competición de los vuelos de bajo coste y los trenes de alta velocidad. El Orient Express era símbolo del romanticismo, el glamour, pero también de lo ostentoso. Y no era práctico. Obviamente el peso de su encanto seguía tentando a la población. Es por ello que el legendario tren volvió a la vida en 1982, pero rebautizado como el **Venice-Simplon-Orient-Express**, pero no es el verdadero Orient Express, es solo una reconstrucción nostálgica.

8.2. El primer ferrocarril transcontinental de Estados Unidos

El ferrocarril transcontinental de Estados Unidos unió la ciudad de Omaha (Nebraska) en el Este con Sacramento en el Oeste en la costa del Pacífico. Se finalizó con la famosa ceremonia **Golden Spike** (Clavo de Oro) celebrada el 10 de mayo de 1869 en Promontory (Utah), creando así una red de transporte a escala nacional.



Dicho ferrocarril fue la culminación de un movimiento a largo de décadas para construir esta línea y fue uno de los mayores logros de la presidencia de Abraham Lincoln, completado cuatro años después de su muerte. La construcción del ferrocarril requirió hazañas enormes de ingeniería y trabajo por parte de las compañías **Union Pacific y Central Pacific**, que construyeron la línea hacia el oeste y hacia el este respectivamente. Este ferrocarril terminó con las románticas líneas de diligencia, mucho más lentas y arriesgadas, que lo habían precedido.

El ferrocarril ya conectaba Chicago con Omaha en Nebraska, cuando en 1865 comenzaron los trabajos de la Union Pacific, que tendió los raíles desde Omaha hasta el Promontory Point en Utah, construyendo 1.749 km de vía. Por el otro lado, la Central Pacific construyó 1.100 km desde Sacramento en California hasta el Promontory Point.



La mayoría del tramo de la Union Pacific fue construida por trabajadores irlandeses, y por veteranos de los ejércitos de la Unión y Confederados. El tramo de la Central Pacific fue construido principalmente por inmigrantes chinos.

Además de la colocación de los raíles (que empleaba aproximadamente al 25% de la mano de obra), también se requirió los esfuerzos de cientos de herreros, carpinteros, ingenieros, albañiles, topógrafos, telegrafistas y hasta cocineros, por mencionar sólo algunos de los trabajos implicados en la construcción del ferrocarril.

En noviembre de 1869 la Central Pacific conectó Sacramento con la bahía de San Francisco en Oakland (California). La Union Pacific no conectó Omaha con Council Bluffs (Iowa) con el ferrocarril ya existente entre Chicago y dicha ciudad hasta la terminación del puente Union Pacific Missouri River en 1872. El 4 de junio de 1876, un tren rápido llamado Transcontinental Express llegó a San Francisco en tan sólo 83 horas y 39 minutos después de su partida desde la ciudad de Nueva York. Sólo diez años antes el mismo viaje habría llevado meses por tierra o semanas por barco.

8.3. El ferrocarril Transiberiano

El Transiberiano conecta la Rusia europea con las provincias zaristas del lejano oriente ruso. Su construcción se inició en 1891 y se realizó en dos etapas: de 1891 a 1904 hasta el lago Baikal, en el corazón de Asia, y de 1908 a 1916 hasta Vladivostok, puerto fundado por los rusos en 1860 como defensa frente a los posibles avances de Japón.



Sergei Witte, el ministro de finanzas calificó la construcción del ferrocarril como una de las mayores empresas del siglo en el mundo entero. La línea se extendía por los montes Urales, en la Rusia europea e iba a través de la desolada Siberia y de Manchuria hasta llegar a Vladivostok, en el mar de Japón. La línea fue todo un éxito y no se tuvo que esperar mucho para su utilización, pues se necesitaba el tren para trasladar soldados y provisiones a través del continente, hacia Manchuria, donde la guerra ruso-japonesa se hallaba en su apogeo.

La construcción de la línea se dividió en varias secciones, bajo la dirección de diferentes ingenieros. La sección más occidental, que empezaba en Cheliabinsk, discurría casi en línea recta durante 1.500 km, a través de llanuras sin accidentes, pero no había árboles para hacer traviesas y sólo se podía trabajar al aire libre durante cuatro meses al año. El trazado poseía un diseño muy pobre, pues fue construido a bajo costo con materiales baratos. Las excavaciones se hacían con pico y pala y para ahorrar dinero, las traviesas estaban más espaciadas que en Europa o Norteamérica y los raíles se hicieron con un acero mucho más ligero. Apenas se utilizaba balasto para asentar la vía y en muchos lugares se tendían las traviesas directamente sobre la tierra. Pero, a pesar de los problemas, se avanzó con rapidez, tendiendo una media de 4 km diarios de vías en verano. Los primeros 800 km de la sección occidental se inauguró en septiembre de 1894. En agosto de 1895, la línea llegó al Obi, uno de los ríos más largos de Siberia.

Los equipos construían puentes sobre la marcha: estructuras de madera sobre los arroyos y ríos pequeños, y construcciones más sólidas, de piedra y acero, sobre los ríos caudalosos como el Obi y el Yeniséi. Hicieron un buen trabajo, como demuestra el hecho de que muchos de los puentes de acero aún se mantienen en pie, a pesar de sufrir cada primavera el impacto de miles de toneladas de hielo contra sus pilares de piedra, cuando comienza el deshielo.

El frío se cobró innumerables vidas, ya que los obreros trabajaban apenas sin protección, a 30 m de altura sobre las aguas congeladas, y a veces se quedaban tan agarrotados que no podían agarrarse a los asideros y caían al hielo. El acero fundido para los puentes se traía de los Urales, el cemento de San Petersburgo, los cojinetes de acero de Varsovia, y todo llegaba por la vía recién tendida, con lentitud desesperante.





La **ruta principal** fue inaugurada después de trece años de trabajo, el 21 de julio de 1904, y es recorrida por el tren que se conoce con el nombre de **Russia** (Rusia en ruso). Tiene una extensión de 9.288 km y une Moscú con Vladivostok en la costa rusa del océano Pacífico. Esta línea constituye el servicio ferroviario continuo más largo del mundo, y hay ramales a China, a través de Mongolia y Manchuria y con servicio también a Pionyang (Corea del Norte).



El recorrido atraviesa siete husos horarios distintos. La duración total del viaje depende del servicio en cuestión, pero el promedio es de siete días y seis noches. A intervalos regulares a lo largo del trayecto se cambian las locomotoras. La mayoría de las composiciones tienen más de 500 m de coches de pasajeros. Rusia y Mongolia se caracterizan por su ancho de vía ancha, mientras que China utiliza el ancho estándar, por lo que hay un cambio en ésta. Esto implica que las formaciones que viajan hacia o desde China no pueden cruzar la frontera directamente, sino que cada coche de pasajeros debe ser levantado para que sus ejes sean cambiados. Esta operación, junto con los trámites de aduana y el control de pasaportes, puede hacer que el cruce de la frontera demande varias horas.

La mayoría de los viajeros que van en el Russia sólo hacen una parte del trayecto, pues este tren realiza un servicio relativamente rápido entre ciudades importantes, tales como Ekaterimburgo, Novosibirsk o Irkutsk. Hay dos clases de acomodo en los vagones para los pasajeros: blando, con asientos totalmente tapizados y duro, con asientos más básicos y los dos tipos de asientos se convierten en camas para viajar de noche. El tipo de acomodo blando consiste en grandes compartimentos tipo europeo con 2 o 4 literas, mientras que el acomodo duro consiste en compartimentos de cuatro literas o en coches sin compartimentos.

Un **segundo ramal** dentro de esta extensa red ferroviaria es el **Transmanchuriano**, cuyo recorrido coincide con el Transiberiano hasta Társkaya, unos 1.000 km al este del lago Baikal. Desde la ciudad de Társkaya, el Transmanchuriano enfila al sureste hacia China, y sigue su recorrido hasta finalizar en Pekín. La **tercera ruta** es el **Transmongoliano**, que coincide en su traza con el Transiberiano hasta Ulán Udé, en la ribera este del lago Baikal. Desde Ulán Udé, el Transmongoliano enfila al sur hasta Ulán Bator, tras lo cual sigue en dirección sudeste hasta Pekín. En 1991 fue completada una **cuarta ruta**, cuyo recorrido se encuentra más al norte, tras más de cinco décadas de obras esporádicas. Conocida como **ferrocarril Baikal-Amur**, se separa del Transiberiano varios cientos de kilómetros al oeste del Lago Baikal, y lo atraviesa por su extremo norte. Esta ruta alcanza el océano Pacífico al noreste de Jabárovsk, en Sovétskaya Gavan. Si bien brinda acceso a la notable costa norte del Baikal, este ramal se caracteriza también por atravesar zonas consideradas peligrosas.



8.4. Grandes estaciones de ferrocarril de la edad dorada del ferrocarril

El estudio de la historia del ferrocarril no puede olvidar el hacer un recordatorio sobre las grandes estaciones, bien por su trascendencia en el pasado o por la monumentalidad de sus edificios. Así se debe citar las siguientes estaciones:

8.4.1. Las estaciones de Londres, entre las que se encuentran:

a) La **estación de Waterloo** (London Waterloo station), fue inaugurada en 1848 y se encuentra en el London borough de Lambeth. Los trenes que parten de esta estación tienen como destinos ciudades del sur y suroeste de Inglaterra.

Es la estación ferroviaria más grande del Reino Unido. Su característica principal es el Arco de la Victoria, construido de piedra de Portland en honor a las víctimas de las guerras mundiales.



b) La **estación Victoria** de Londres y conocida como London Victoria: Inaugurada en 1862. Es la estación más conocida de Londres por ser uno de los testigos de la época victoriana, que ocupó los últimos 70 años del siglo XIX y está vinculada a la obra literaria de Agatha Christie.

La estación Victoria está situada en el sur de la ciudad de Londres, concretamente en el barrio de Westminster. El eje principal de la zona es Victoria Street, la vía que comunica el edificio del Parlamento y la abadía de Westminster con la estación Victoria y la catedral de Westminster.



c) La **estación de St. Pancras** (San Pancracio) es la única estación internacional de Londres. También es la más bella de la ciudad. Lo llamativo del edificio es que es de estilo neogótico, que fue diseñado en 1863, por el arquitecto William Barlow, para la compañía ferroviaria Midland Railway. Allí opera el Eurostar, que conecta Inglaterra con Francia a través del túnel que pasa por debajo del Canal de la Mancha. Se halla en el norte de Londres, entre el edificio de la nueva Biblioteca Británica y la estación King's Cross.



8.4.2. Doce de las estaciones de ferrocarril más bellas del mundo

a) Estación Chhatrapati Shivaji Terminus, en Bombay.

Es un ejemplo de la arquitectura del gótico victoriano en la India, mezclado con la arquitectura tradicional de los palacios de este país. La estación se inauguró en 1887 y entonces se le llamó Estación Victoria, en honor a la reina Victoria, emperatriz de la India. Es un ejemplo sobresaliente de la unión de dos culturas y el edificio se convirtió en símbolo de Bombay.



Es un ejemplo sobresaliente de la unión de dos culturas y el edificio se convirtió en símbolo de Bombay.

b) Estación de Dunedin en Nueva Zelanda.

Se abrió en 1906 y hoy ha sido restaurada a su antiguo esplendor. La ornamentada arquitectura de estilo del Renacimiento flamenco presenta superficies de piedra caliza blanca de Oamaru sobre rocas de basalto negras. El imponente tamaño, grandioso estilo y ricos adornos de la estación le otorgaron a su constructor el arquitecto George Troup el apodo de Gingerbread George.



El imponente tamaño, grandioso estilo y ricos adornos de la estación le otorgaron a su constructor el arquitecto George Troup el apodo de Gingerbread George.

c) Estación de Amberes Central de Bélgica.

Su edificio, revestido en piedra y con una gran cúpula, se construyó entre 1895 y 1905. La estructura de



185 m de largo y 44 m de altura de hierro y vidrio que cubre las vías fue diseñada por Clemente van Bogaert.



d) Estación central de Milán. Inaugurada en 1931 para reemplazar la vieja Estación Central de 1864. Debido a la crisis económica posterior a la primera gran guerra, su construcción avanzó lentamente y el proyecto fue cambiando y se tornó majestuoso. De hecho, no tiene un estilo arquitectónico definido, sino que es una mezcla de diferentes estilos, especialmente el Art Nouveau y Art Deco. Su fachada tiene un ancho de 200 m y su bóveda una altura de 72 m.





e) Estación de Sirkeci de la zona europea de Estambul. Originalmente, la estación se construyó para acoger al mítico Orient Express, y en parte conserva ese aroma de lugar exótico y fascinante. El arquitecto August Jachmund, un prusiano enamorado de la arquitectura otomana, la diseñó con un estilo oriental europeo. Se inauguró en 1890. En una de las zonas de la estación se halla el restaurante Orient Express, un punto de encuentro para soñar con otros tiempos.



f) Estación de Maputo en Mozambique. Es de estilo colonial portugués, inaugurada en 1910. Es quizás es la estación de tren más bella de África, con su gran cúpula, los tonos verdes de su fachada, la celosía de hierro forjado, su reloj victoriano, sus azulejos portugueses y unos andenes que parecen haberse detenido en el tiempo.



g) Estação da Luz, en Sao Paulo (Brasil). Se inspiró en las estaciones de ferrocarril de la época victoriana en Inglaterra. Fue concluida en 1901 y se convirtió en un símbolo, tanto de la próspera industria del café como de aquella primera industrialización de Brasil. El edificio fue diseñado por el arquitecto británico Charles Henry Driver y todos los materiales de construcción procedieron de Inglaterra.



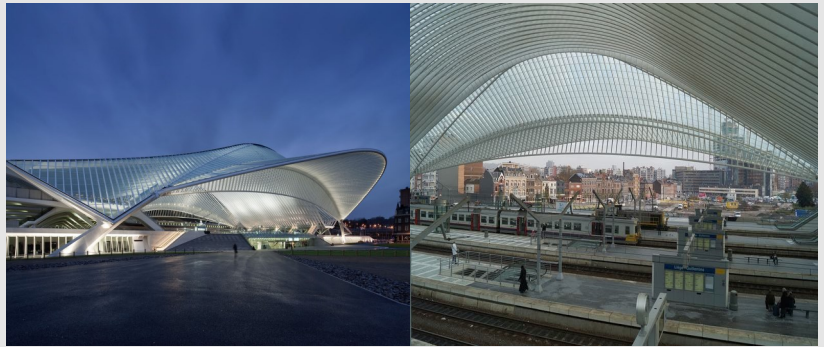
h) Estación Grand Central de Nueva York. Es la icónica estación que ocupa el centro neurálgico de Manhattan. El ambicioso proyecto arrancó en 1903, con la demolición de varios edificios cercanos. Durante una década, la vieja estación fue desmantelada por partes. Sobre sus cenizas surgió un majestuoso edificio estilo «Beaux Arts» de 19 hectáreas. Dispone de un entramado de 30 andenes y 46 vías organizados en dos niveles, que con el tiempo creció hasta albergar 44 andenes y 67 vías. Tras diez años de trabajo y una inversión de cerca de 80 millones de dólares de aquel entonces, la estación abrió sus puertas el 2 de febrero de 1913.





i) Estación de Lieja Guillemins de Bélgica.

Es la nueva estación de Lieja y obra del arquitecto español Santiago Calatrava, inaugurada el 18 de septiembre de 2009. El edificio fue construido en acero, vidrio y hormi-



gón e incluye una cúpula de 200 m de longitud y 35 m de altura. Recibe trenes de alta velocidad que conectan hacia el este con la línea belga de alta velocidad (que la une a Bruselas) y hacia el oeste con línea que la une a la frontera alemana.

j) Vieja estación de Kuala Lumpur (Malasia).

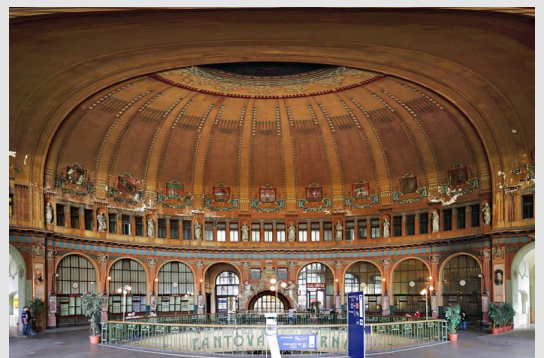
Su estilo es una fusión entre estilos orientales y occidentales. La obra se terminó en 1910 y corrió a cargo del arquitecto británico Arthur Benison Hubback, que trajo a Malasia parte de su acervo estilístico asimilado en la India. La estación se usó hasta que en 2001 Kuala Lumpur Sentral la sustituyó.



k) Estaciones del Metro de Moscú. Son monumentos de la arquitectura vinculados con la historia del país bajo el poder soviético. Las diez primeras estaciones fueron inauguradas el 15 de mayo de 1935. Durante la construcción del metro se utilizó más de veinte variedades de mármol, tales como piedra del Labrador, granito, pórfido, rodonita, ónice, y otros tipos de piedra para la construcción. Las instalaciones están embellecidas con estatuas, relieves y composiciones decorativas de los artistas más importantes del país, creando un ambiente confortable y dando a cada estación una imagen individual.



l) Estación Hlavní Nádraží (Estación central) de Praga. Fue inaugurada en 1871 y nombrada Františka Josefa en honor a Francisco José I de Austria. El interior de la estación tiene un hall de estilo Art Nouveau que fue diseñado en 1909 por el arquitecto checo Josef Fanta. Se encuentra cerca del centro de la ciudad de Praga y es un centro de transporte internacional con los países vecinos.



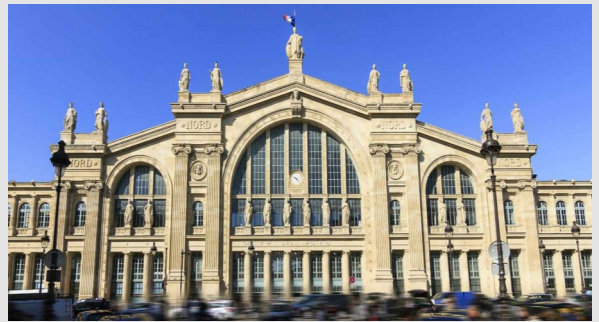
8.4.3. Estaciones de ferrocarril relevantes de Francia y Portugal

a) Estación de Limoges-Bénédictins.

Debe su nombre a un monasterio benedictino que hubo en la zona antes de la Revolución Francesa. Está situada en Limoges a 400 km al sur de París. Tiene un cierto aire de catedral. Roger Gonthier diseñó el edificio y las obras se realizaron entre 1924 y 1929. Es el resultado maravilloso de un edificio de hormigón armado con placas de piedra caliza con cúpula y campanario, una majestuosa entrada y las vidrieras del artista de la localidad Chigot.



b) **Gare du Nord en París.** Es la principal estación de Francia. Fue construida por Jacques Hittorff entre 1861 y 1865, pero se abrió en 1864. La fachada se organiza alrededor de un arco de triunfo y se caracteriza por sus grandes bloques de piedra. Está decorada con 23 majestuosas estatuas que representan las ciudades servidas por el ferrocarril. El edificio tiene la típica forma de U de una estación término. El forjado es de hierro fundido y las columnas se fabricaron en Escocia.



c) Estación de São Bento en Oporto.

Se caracteriza por los murales de azulejos que remiten al arte portugués. La Estación de São Bento se inauguró en 1916 y fue construida en el lugar donde se alzaba el Convento de São Bento del Ave María, de ahí el nombre del edificio, y es obra del arquitecto José Porto en el estilo francés típico de la época.



d) **Gare de París-Lyon en París** se caracteriza por su torre del reloj formada por una torre cuadrangular de 67 m de altura, con un reloj en cada una de sus cuatro caras. La estación se construyó siguiendo los planos de François-Alexis Cendrier en 1855 para servir a la compañía de ferrocarriles de París a Lyon. La estación fue parcialmente destruida por un incendio en 1871 y se reconstruyó de forma idéntica.



8.4.4. Estaciones de ferrocarril relevantes de España

a) Estación de Canfranc. Esta estación oscense es uno de los hitos ferroviarios españoles tanto por su estilo y majestuosidad como por su privilegiado entorno, en plenos Pirineos. El edificio es de 1928 y sigue el patrón de los palacios franceses. Actualmente se encuentra en estado de semiabandono debido en gran parte al derrumbe del paso fronterizo que la unía con Francia.



b) Estación de Atocha. Es la estación más popular de Madrid y es una obra de finales del siglo XIX, inaugurada en 1892. Tiene una gran bóveda, adornos, relojes y estructura en hierro. En su interior alberga hoy en día un gran jardín cubierto y sus famosos estanques de tortugas.



c) Estación del Norte de Valencia. Es una estación término con un edificio magnífico y monumental y estilo modernista inaugurada en 1917 por la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España quien encargó su construcción a Demetrio Ribes uno de los arquitectos de la compañía. Destaca por su riqueza ornamental y sus grandes proporciones.



d) Estación del Norte de Madrid. Fue inaugurada en 1882, convirtiéndose en una de las estaciones más destacadas de la red que comunicaba con el norte de España. Tras la inauguración de la Estación de Chamartín comenzó su declive al ser trasladado el tráfico ferroviario a la nueva estación. En 1993 fue clausurada y rehabilitada como un intercambiador y un centro comercial y renombrada como Estación de Príncipe Pío.



9. El desarrollo del ferrocarril en la segunda mitad del siglo XX

En el siglo XIX y hasta la Segunda Guerra Mundial del siglo XX, el ferrocarril se erigió en el símbolo del progreso. Puso en contacto las zonas rurales interiores con las ciudades costeras y permitió unir las regiones más distantes de uno o diferentes países. Concluida la Segunda Guerra Mundial en 1945, se sigue estando en plena Segunda Revolución Industrial cuyos motores de desarrollo son el petróleo y la electricidad. Se construyen grandes carreteras para que el transporte de pasajeros y de mercancías se haga sobre todo por dichas vías de comunicación. Además irrumpe el avión como medio de transporte para grandes distancias.

Aunque no desaparece el ferrocarril como medio de transporte, deja de ser el símbolo del transporte. A pesar de ello, se da la paradoja de que se perfecciona mucho el transporte por ferrocarril y las locomotoras de vapor son sustituidas por las locomotoras diésel y eléctricas, más rápidas que las de vapor y menos contaminantes del medio ambiente.



Además, las locomotoras de vapor necesitan un mantenimiento bastante elevado para funcionar. En plena época de desarrollo en la segunda mitad del siglo XX, los costes de personal se incrementan de modo muy importante, lo que hace también que la tracción a vapor se encareciera sobre el resto. Al mismo tiempo, resulta que la guerra mundial impulsa el desarrollo de los motores de combustión interna, que hace a las locomotoras diésel más baratas y potentes, por lo que varias compañías ferroviarias inician programas para convertir todas sus locomotoras para líneas no electrificadas en locomotoras diésel. También la introducción de los contenedores en el transporte de mercancías contribuye a mejorar la rentabilidad del transporte de mercancías por ferrocarril.

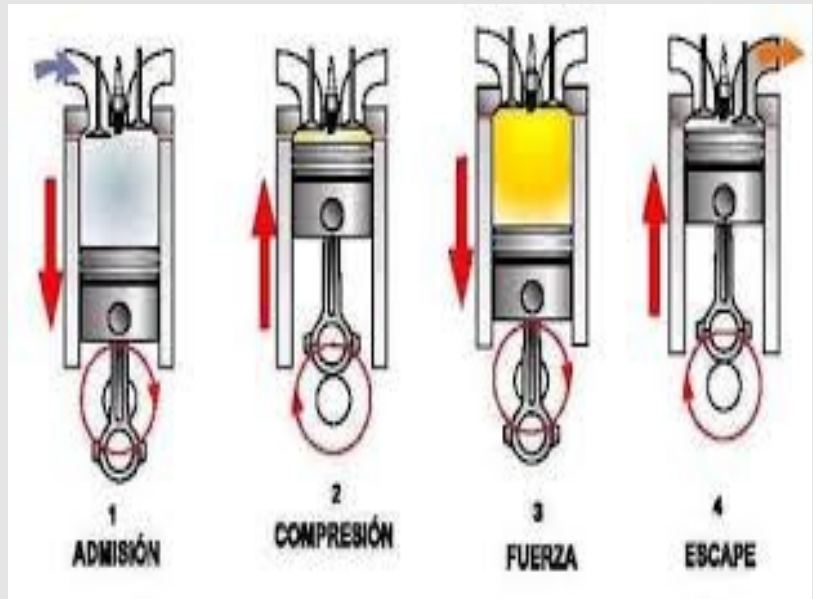
La **primera locomotora diésel** es de 1912, pero no se desarrolla plenamente hasta la década de 1950, cuando la mejora de la tecnología permite fabricar motores con la potencia necesaria para los trenes, mientras que la **primera locomotora eléctrica** es de Werner Siemens de 1879, pero el alto coste de la instalación y la juventud de la tecnología, la relegó a usos concretos como su utilización en los ferrocarriles metropolitanos



suburbanos o en los grandes puertos de montaña de Suiza donde, aun a pesar del sobrecoste, daban mejores resultados que las locomotoras de vapor. Por otro lado, la fabricación de motores diésel y eléctricos para locomotoras, tranvías eléctricos o barcos cambia la forma de trabajar con la **producción en cadena** en plantas industriales muy diferentes a las antiguas fábricas, surgidas en la Primera Revolución Industrial.

9.1. La aparición del motor de explosión o de combustión interna

Este tipo de motores generan el movimiento gracias a la explosión del combustible dentro del mismo en una cámara llamada cilindro. Al igual que en el motor de vapor, cada cilindro tiene un pistón. Si tenemos un cilindro vertical, al estar su pistón en su posición más elevada y producirse la explosión en la parte superior, éste sale con fuerza hasta su posición mínima.



Este trabajo generado se transmite al exterior del motor a través de un cigüeñal que, aparte de servir de mecanismo biela-manivela, permite que varios pistones trabajen de manera solidaria. Este trabajo en conjunto es necesario en grupos de dos ya que, mientras un pistón está en la parte superior, el otro está en la inferior. De esta manera, con la explosión y gracias al cigüeñal, cuando uno se desplaza hacia abajo el otro se desplaza hacia arriba.

Para que se produzca la explosión y el movimiento, tiene lugar un ciclo que consiste en cuatro fases (admisión, compresión, explosión y escape) que se pueden hacer en dos tiempos (dos movimientos lineales del pistón) y en cuatro tiempos (cuatro movimientos lineales del pistón).

El motor de explosión o de combustión interna guarda relación con su antecesor la máquina de vapor. Tienen en común en que la parte fundamental de ambos es un pistón movido en el interior de un cilindro y la semejanza del motor de explosión con la máquina de vapor actuó hasta cierto punto como un obstáculo en su desarrollo, pues los primeros inventores tendían a adaptar las características de las máquinas de vapor, que no eran las más apropiadas para los motores de combustión interna.

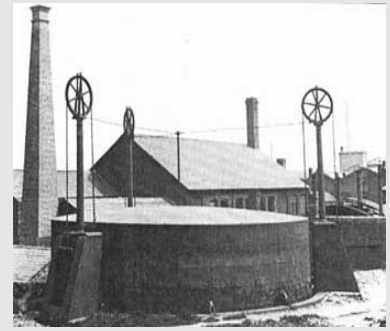
La máquina de vapor era un motor de combustión externa donde el calor que transmitía la energía al pistón o el émbolo del cilindro provenía de fuera del cilindro, mientras que en un motor de combustión interna se mezcla un combustible líquido o gaseoso inflamable y el aire para explotar dentro del cilindro y aprovechar así la energía de dicha combustión para mover el émbolo. Esta tarea tiene su dificultad técnica, pues no es nada fácil cargar el cilindro una y otra vez para realizar las explosiones y extraer los gases de combustión, por lo que, aunque la idea de dicho motor era antigua, pues ya el francés **Denis Papin (1647-1714)**, fue un inventor y físico francés, lo había intentado en el siglo XVII, el desarrollo del motor de explosión transcurre muy posterior al desarrollo de la máquina de vapor.



9.1. La aparición del motor de explosión o de combustión interna

Inconveniente grande fue el hecho de que se necesitase un gas inflamable o un combustible líquido fácilmente vaporizable, por ello hay que esperar a la segunda mitad del siglo XIX cuando la industria de la obtención del gas de hulla estaba en pleno desarrollo y la posterior expansión de la extracción y refinado del petróleo encontró una aplicación para la gasolina, hasta entonces sin uso.

En 1800 el escocés **William Murdoch (1754-1839)** vio que el gas obtenido de la destilación de la hulla era apto como un buen sistema de iluminación y de esta forma se abrió la puerta al gas de hulla como sistema de alumbrado. En 1859, el francés de origen belga, **Joseph Etienne Lenoir (1822-1900)** fue el primero en construir un motor de combustión interna que funcionó utilizando el gas de hulla del alumbrado como combustible. La ignición de la mezcla explosiva de gas y aire contenida en el cilindro se efectuaba por medio de una chispa eléctrica generada por una bobina de inducción y carecía de un sistema para comprimir la mezcla antes de ser quemada, por lo que el rendimiento del motor no admitía comparación con el de una máquina de vapor contemporánea.



Fábrica de gas de Murdoch.

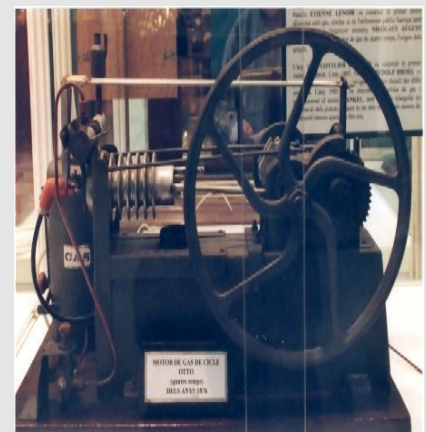


Lenoir en un vehículo con uno de sus motores.

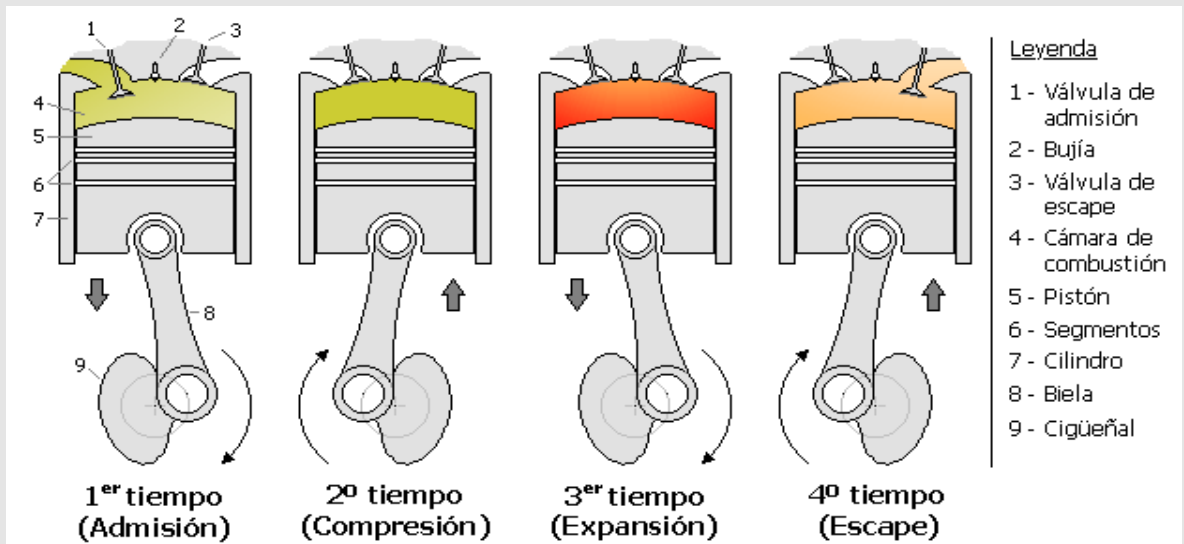
9.2. El motor de Otto

El motor de combustión interna fue el primer motor no movido por vapor de agua capaz de trabajar de forma continuada a nivel industrial. Después del invento de la máquina de Lenoir se hacen intentos para mejorar su eficacia y es el alemán **Nikolaus Otto (1832-1891)** quien logra en 1876 el motor de cuatro tiempos. Los motores de Otto son motores en los que la relación peso/energía es muy alta, están poco revolucionados y en consecuencia son motores fijos y, diseñados para usos industriales.

En el motor de Otto, la entrada de combustible y la expulsión de los productos de la combustión es un **ciclo de cuatro movimientos del émbolo**. En el **primer tiempo**, la mezcla explosiva se introduce en el cilindro, en el **segundo** la mezcla es comprimida por el émbolo y luego encendida generalmente por una bujía, durante el **tercero**, la energía de la explosión empuja al émbolo y realiza su trabajo y durante el **cuarto**, el émbolo en su recorrido de vuelta expulsa los gases de la combustión, quedando todo dispuesto para la repetición del ciclo.



Motor de Otto. En 1881 el motor de gas de Otto de mayor potencia tenía 20 CV y en 1917, año en el que logró su máxima popularidad, alcanzaba los 5000 CV.

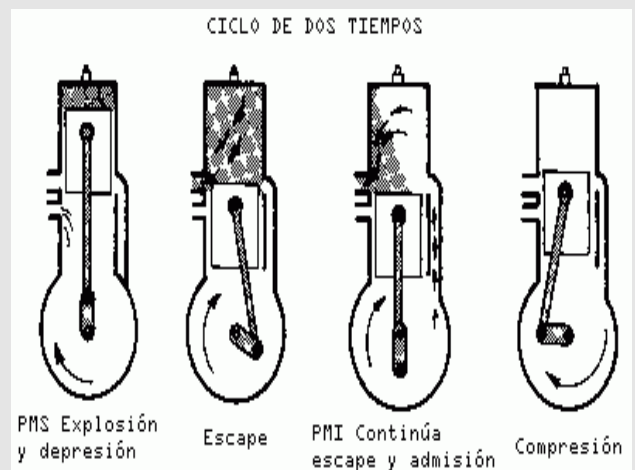


La evolución del motor de explosión se dirige a sustituir el gas de hulla por los derivados líquidos del petróleo, debido a que la conducción de gas a grandes distancias por medio de gasoductos era una técnica no desarrollada en la época y sólo se podía disponer de gas en los lugares cercanos a las fábricas donde era producido. Por otro lado, el uso de un combustible líquido refinado del petróleo tiene la ventaja de que se transporta y almacena fácilmente, se introduce en el motor por la fuerza de la gravedad y proporciona un mayor poder calorífico que el gas de hulla, lo que era una perspectiva atractiva al final del siglo XIX.

También existen motores de Otto con un **ciclo de dos tiempos** (admisión-compresión) que realiza los cuatro pasos del ciclo en dos. Este tipo de motor se utiliza en algunos medios de transporte como ciclomotores, cortacéspedes o motosierras. El rendimiento de este motor es inferior respecto al motor de cuatro tiempos, ya que tiene un rendimiento volumétrico menor y el escape de gases es menos eficaz. También es más contaminante.

Elementos del motor de dos tiempos:

- **Émbolo o pistón:** es el elemento móvil que se desplaza por el interior del cilindro, entre el punto muerto superior (PMS) y el punto muerto inferior (PMI). Es un movimiento rectilíneo alternativo.
- **Biela:** une el émbolo o pistón con el cigüeñal.
- **Cigüeñal o manivela:** está situado en el cárter (caja del motor que aloja los elementos básicos del motor como aloja el cigüeñal, pistón, y biela). Tiene un movimiento circular.
- **Lumbreras de admisión y de escape:** son aberturas en las paredes del cilindro que permiten la entrada de la mezcla de combustible y aire en el cilindro, y la salida de gases quemados.
- **Bujía:** hace saltar entre sus electrodos una chispa que provoca la explosión.





Cuando el pistón alcanza el PMI (punto muerto inferior) empieza a desplazarse hasta el PMS (punto muerto superior), creando una diferencia de presión que aspira la mezcla de aire y el combustible líquido por la lumbreira de admisión hacia el cárter. Cuando el pistón tapa la lumbreira, deja de entrar mezcla, y durante el resto del recorrido descendente, el pistón la comprime en la parte inferior del cárter, hasta que descubre la lumbreira de transferencia que lo comunica con la cámara de compresión, con lo que la mezcla fresca precomprimida ayuda a expulsar los gases quemados del escape.

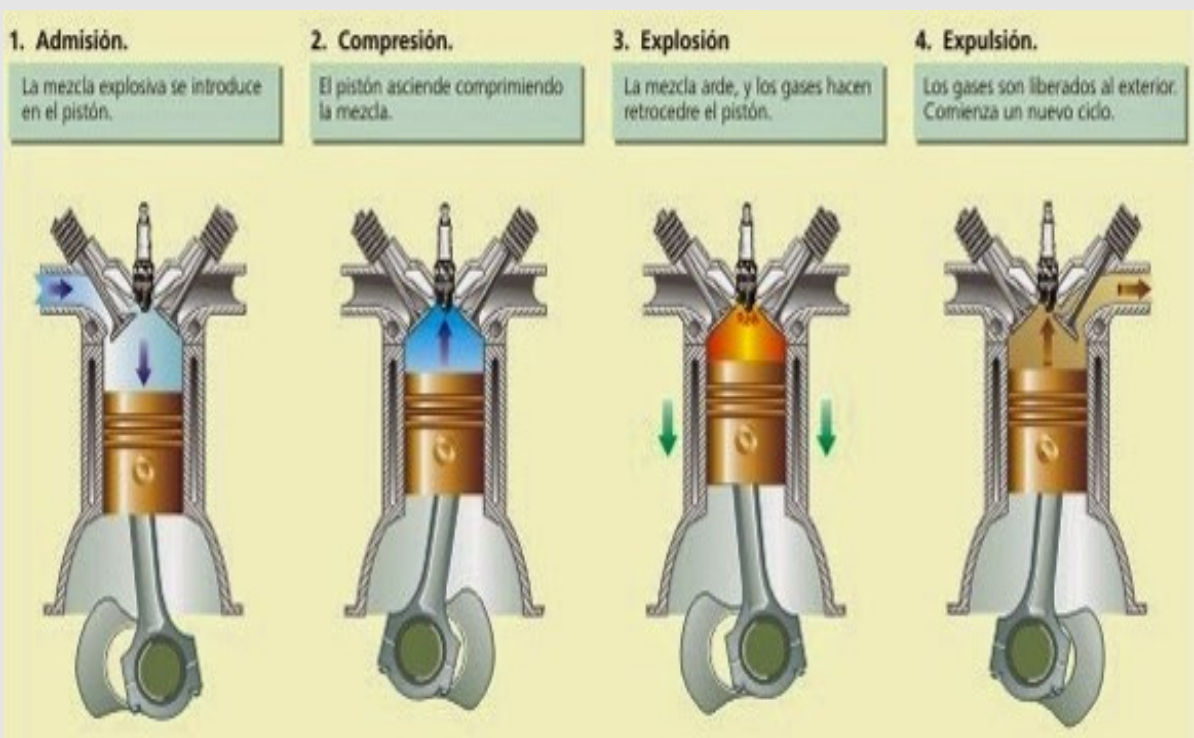
Los derivados poco volátiles del petróleo fueron los primeros que encuentran su aplicación en el motor de explosión. La aplicación del fuelóleo como combustibles tiene un gran desarrollo gracias al alemán **Rudolf Diesel (1858 -1913)** que usó este derivado más pesado del petróleo en su motor, utilizado desde 1897, y que empleó un ciclo distinto al de Otto, por lo que desde entonces se llama **ciclo diésel**.



Motor diésel.

9.3. El motor diésel

El motor diésel es una evolución del motor de Otto y no depende para la inflamación de la mezcla combustible-aire de una chispa eléctrica, en su lugar la ignición se origina de forma espontánea por el gran calor generado en la carrera de compresión del émbolo. Este método tiene la ventaja de que permite prescindir del sistema de ignición externa, pero por contra, el alto grado de compresión necesario para obtener la ignición espontánea exige una estructura muy robusta del motor, y por lo tanto muy pesada, además de que es un motor muy poco revolucionado.





Este motor tiene un grado de comprensión excepcionalmente alto, por lo que tiene un rendimiento térmico mejor que los otros tipos de motores, lo que se traduce en un menor consumo de combustible en los mismos. En consecuencia, los motores diésel, cuando logran su adecuado desarrollo tecnológico, tienen buena acogida para su uso en camiones, locomotoras de ferrocarril o barcos y cosechan un gran éxito como grandes motores fijos y en toda la maquinaria agrícola, incluido el tractor, lo que demuestra la creciente demanda de energía de las zonas rurales.

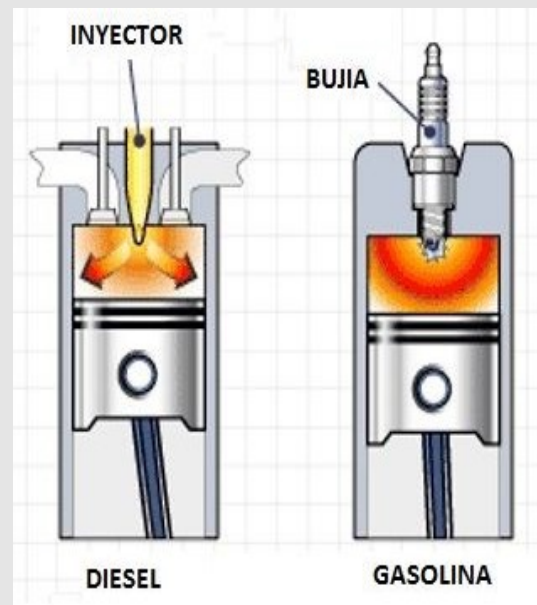
La fábrica de maquinaria alemana MAN se hizo con la licencia de los motores diésel e inundó el mercado con los mismos. Así, la primera central eléctrica diésel la construye la casa **MAN** en Kiev entre 1903 y 1906 y contaba con 6 motores diésel de cuatro tiempos de 400 CV cada uno, que se usaban para la generación de la corriente eléctrica de los tranvías urbanos.

El motor de gasolina aparece más tarde, pues la volatilidad de dicho combustible representaba un problema técnico importante. Vino de la mano del alemán **Gottlieb Daimler (1834-1900)** en 1883 y funcionaba según el ciclo de Otto.

Al final del siglo XIX, la tecnología de los motores diésel y de gasolina estaba lo suficientemente desarrollada y ganaron la partida en las fábricas a las máquinas de vapor alimentadas con carbón. En las fábricas, para alimentar una caldera de carbón es necesario un amplio grupo humano para mantenerla en funcionamiento, además de una gran cantidad de carbón. Por el contrario, con los motores de explosión se usa un combustible que presenta la ventaja de ser líquido, por lo que sólo necesita un depósito y por lo tanto de menos personal para poner en funcionamiento el motor que en el caso de la máquina de vapor. Además, el rendimiento térmico de los motores de explosión es superior al de la máquina de vapor, lo que incrementa el ahorro por necesitar menos combustible.

Por otro lado, el desarrollo paralelo del motor eléctrico hizo de éste una alternativa al motor de explosión y ambos tuvieron y tienen su respectiva cuota de mercado desde el inicio del siglo XX. De esta forma en el transcurso de la Segunda Revolución Industrial concluye el monopolio tecnológico de la máquina de vapor basada en el carbón y se sustituye por el motor de explosión y el motor eléctrico.

Entre las dos guerras mundiales del siglo XX se perfeccionan los motores de explosión y eléctrico. El primero transformó la economía y la sociología del transporte. El segundo facilitó la mecanización a gran escala de las fábricas. Y ambos permitieron escapar a los determinismos geográficos impuestos por el carbón en la Primera Revolución Industrial, pues con un motor u otro, la industria puede localizarse lejos de la mina, dispersarse en zonas rurales o implantarse cerca de la clientela urbana.



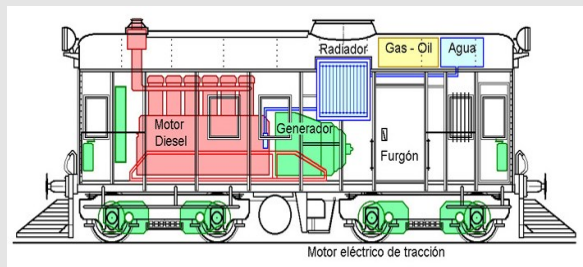
10. Las locomotoras diésel

La fuente de energía de las locomotoras diésel es la producida por un motor de combustión interna de ciclo diésel y el combustible se lleva en la propia máquina en un depósito o tanque. La energía cinética se genera en el motor de explosión, pero se necesita que esta energía se transmita a las ruedas mediante algún mecanismo. La transmisión de la energía para su movimiento se puede realizar con una transmisión mecánica o con una transmisión eléctrica o hidráulica. La principal ventaja de la tracción diésel con respecto a la tracción vapor es el rendimiento del motor y el aprovechamiento energético. Mientras que en una máquina de vapor el rendimiento es del 6-8%, en una diésel puede llegar al 30% de la energía consumida transformada en movimiento. El resto, como en la de vapor, se pierde en calor y rozamientos.

En la **transmisión mecánica**, el cigüeñal está unido a las ruedas mediante engranajes y cardanes (el cardán es un componente mecánico que permite unir dos ejes no colineales y su objetivo es transmitir el movimiento de rotación de un eje al otro a pesar de la no colinealidad) con una caja de cambios y embrague intermedios. Los trenes de este tipo son como autobuses con ruedas ferroviarias. No obstante, debido a la enorme fuerza que necesita un tren para moverse y la fragilidad que puede tener un sistema de estas características, la transmisión mecánica es poco común.

En la **transmisión eléctrica**, el cigüeñal está unido a un generador que se encarga de alimentar motores eléctricos que están mecánicamente unidos a las ruedas. La transmisión está formada por un grupo electrógeno (formado por un motor de combustión interna que mueve a un generador eléctrico). Es una de las transmisiones más utilizadas en locomotoras a nivel mundial, en gran parte debido a su robustez, fiabilidad y a su omnipresencia en las locomotoras de diseño estadounidense. Entre sus ventajas destaca que elimina totalmente las cajas de cambios y muchos elementos mecánicos que pueden resultar costosos de mantener y permite aprovechar al máximo las innovaciones del motor eléctrico.

La **transmisión hidráulica** está basada en los principios de Pascal y Bernoulli y utiliza un fluido (generalmente aceite) encerrado dentro de un circuito que se encarga de mover las ruedas gracias al accionamiento de los émbolos de unos cilindros unidos a las mismas. Gracias a una bomba hidráulica, el motor de explosión se encarga de hacer que este fluido adquiera energía cinética o de movimiento y se accione el mecanismo.



Tamagotchi de Renfe. Es único tren diésel de transmisión mecánica con unidades en funcionamiento en 2017.

10.1. Locomotora diésel con tracción mecánica

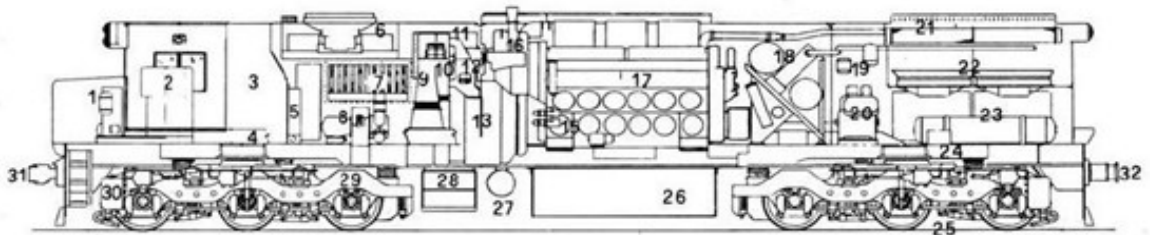
Es una locomotora diésel de poca potencia con transmisión mecánica convencional, que se utiliza en pequeñas locomotoras de maniobra, ferrobuses o automotores. En locomotoras de mayor potencia, la transmisión mecánica no es adecuada y se sustituye por la transmisión eléctrica o hidráulica.

El **ferrobús** es un vehículo ferroviario ultraligero de una sola unidad o con hasta tres acoplados formando un tren. Está diseñado para el uso en líneas de ferrocarril de poco tráfico y, como el nombre sugiere, comparte muchos aspectos de su construcción con un autobús: por lo general tiene un chasis regular o modificado de autobús, con dos ejes simples montados directamente al chasis. Otra característica es que la cabina de conducción está integrada en el propio coche sin ningún tipo de separación con los viajeros y suelen tener cabinas en ambos extremos, de modo que puede cambiar fácilmente los vagones su sentido.



10.2. Locomotora diésel con tracción eléctrica

También llamada híbrida eléctrica y consta de tres componentes: un **motor diésel** (motor primario) acoplado a un **generador eléctrico principal trifásico**, que suministra la corriente eléctrica a los ventiladores del radiador para refrigerar el motor diésel y a varios **motores eléctricos de tracción**, que comunican a las ruedas la fuerza tractora que mueve la locomotora. No hay conexión mecánica entre el motor primario y los motores de tracción.



- | | |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1 - Equipo auxiliar de freno. | 17 - Motor diesel. |
| 2 - Pedestal de control. | 18 - Equipo de accesorios del motor y gabinete de C.A. |
| 3 - Gabinete eléctrico principal. | 19 - Equipo de vacío (si se aplica). |
| 4 - Conducto de aire de los motores de tracción | 20 - Compresor de aire o compresor/bomba de vacío. |
| 5 - Filtro de aire del gabinete eléctrico principal | 21 - Radiadores y persianas. |
| 6 - Escotilla de freno dinámico (sólo en el modelo CU). | 22 - Ventiladores de enfriamiento. |
| 7 - Filtro inercial de aire. | 23 - Depósito principal de aire No. 1. |
| 8 - Descarga de polvo de los filtros inerciales. | 24 - Cámara de aire de motores de tracción. |
| 9 - Soplador de los motores de tracción. | 25 - Motor de tracción. |
| 10 - Soplador del generador principal. | 26 - Tanque de combustible. |
| 11 - Filtro de aire del motor. | 27 - Depósito principal de aire No. 2. |
| 12 - Generador auxiliar de C.C. | 28 - Receptáculo de baterías. |
| 13 - Generador principal. | 29 - Bogue. |
| 14 - Generador auxiliar de C.A. | 30 - Depósito arenoso. |
| 15 - Motores de arranque del motor diesel. | 31 - Enganche para trocha métrica. |
| 16 - Turbosobrealimentador del motor diesel. | 32 - Paragolpes y enganche (trocha ancha). |

Esquema de una locomotora diésel-eléctrica con las partes esenciales de la misma.



Generalmente, hay un motor de tracción por cada eje. Los motores de tracción se alimentan con corriente eléctrica procedente del generador principal y luego, por medio de piñones, mueven los ejes en donde están acopladas las ruedas. Se llama **bogie** al dispositivo giratorio dotados de dos o más ejes, cada uno con dos ruedas, sobre los que se apoya un vehículo ferroviario. Los ejes son paralelos y solidarios entre sí, y en general están situados en ambos extremos de los vehículos, destinados a circular sobre los raíles. El vehículo se apoya en cada bogie por medio de un eje vertical mediante un pivote, gracias al que puede describir curvas muy cerradas. En ellos van alojados los dispositivos de la suspensión.



Se puede almacenar la energía eléctrica por medio de baterías eléctricas (que pueden recargarse con el generador diésel o cambiarse por otras cargadas en paradas predeterminadas) o con supercondensadores (que se pueden recargar en cuestión de pocos minutos en cada parada).



Cabina de una locomotora diésel-eléctrica.

La aparición de las locomotoras diésel-eléctricas aceleró el final de las locomotoras de vapor. En 1925 en Estados Unidos aparece la primera locomotora diésel-eléctrica, dando un aporte gigantesco al desarrollo de la nación. En 1939 General Motors crea una nueva locomotora diésel-eléctrica capaz de remolcar pesados trenes de mercancías, con gran éxito y desde entonces comienza el gran desarrollo de la tracción diésel.

La potencia instalada en una locomotora diésel-eléctrica es la suma de la potencia del motor primario más la potencia del generador principal y la potencia de los motores de tracción. Esta triplicación de la potencia instalada es el factor que da origen al alto peso y costo de las locomotoras diésel-eléctricas, comparadas con las eléctricas o las diésel-hidráulicas.

La energía eléctrica de los elementos auxiliares de la locomotora, como bombas, ventiladores, compresores del equipo de freno o carga de baterías, se obtiene de generadores auxiliares, los cuales unos deben generar energía eléctrica a tensión constante para alimentar los circuitos de baterías o iluminación, y otros a una tensión variable y de magnitud adecuada para la regulación de la potencia.



10.3. Algunas locomotoras diésel-eléctricas

- **Diésel Centennials** norteamericanas de la Unión Pacífico, que marcaron el final del reinado del vapor. Tenían una velocidad máxima algo inferior a 140 km/h y podían cargar hasta cerca de 40.000 litros de combustible. Fueron construidas por la EMD (Electro Motive Division, de la General Motors). Eran locomotoras muy potentes, por lo que no era frecuente ver a las diésel Centennials encabezar trenes de viajeros, pues su gran potencia era requerida para carga de mercancías.



Centennial 6936, arrastrando un tren a través de las grandes llanuras del oeste norteamericano.

- **Locomotora GT22** equipada con motor con un turbo y ha sido la locomotora indiscutida para trenes de pasajeros de larga distancia, debido a su alta potencia y aceleración tirando de importantes trenes expresos; sin mencionar que puede llegar a los 140 km/h.



Se trata de un producto de exportación norteamericano de la General Motors, que es más liviano que el producto nacional propio, pero con la misma potencia (aunque relegando ciertos factores como el esfuerzo tractivo al ser más livianas y ciertas comodidades operativas como cabinas más chicas).

- **Locomotoras de ALCO**, fabricada por la American Locomotive Company, que han sido capaces de abastecer tanto el mercado doméstico norteamericano como para su uso México, Canadá o Argentina. Fueron fabricadas en la planta industrial de ALCO en la ciudad de Schenectady, en el Estado de Nueva York. La parte eléctrica era de la firma General Electric y el sistema de freno tipo dual, o sea aire comprimido y vacío era provisto por Westinghouse.



La RSD-16 aparece en el Catalogo ALCO de 1956, como modelo de exportación. Es una locomotora de operación bidireccional, con la cabina desplazada hacia una de las trompas. Está clasificada como apta para servicios de carga, de pasajeros y maniobras.

10.4. Locomotoras diésel-eléctricas de RENFE (Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles)

- La serie 321 o 2100 según la antigua numeración. Son locomotoras de la década de 1960 en pleno proceso de dieselización de las líneas españolas. Las primeras se fabrican por ALCo en Estados Unidos y lotes posteriores son construidos en España por CAF, La Naval y Euskalduna. Durante los primeros años dan servicio a trenes de pasajeros, consiguiendo mejor capacidad de tracción con menos potencia que las locomotoras de vapor. A medida que aparecen otras locomotoras se relegan al transporte de mercancías.



Locomotora 2180, que tiene 2.180 CV de potencia, y alcanzaba una velocidad de 120 km/h. Pertenece a la serie 321 de locomotoras que se construyeron entre 1965 y 1970.

- **Locomotora 333.** Es una locomotora de la década de 1970 de gran potencia para la red no electrificada, capaz de arrastrar trenes de viajeros y mercancías y de mantener la velocidad standard de 120 km/h. Se trata de la locomotora General Motors GM226T, pero cambiando la monocabina americana por la construida por la empresa sueca Nohab. Fueron matriculadas como 333.000.



- **Locomotora Euro 4000:** Es la locomotora diésel-eléctrica más potente que existe en la actualidad. Hay una versión que alcanza una velocidad máxima de 120 km/h para transporte de mercancías y apta para trayectos internacionales, con un depósito de 7.000 L, que permite realizar trayectos de 2.000 km sin repostar. Hay otra



versión con velocidad máxima de 160 km/h para pasajeros. El diseño de la locomotora está realizado por empresas líderes mundiales como la alemana Vossloh y con un motor diésel de inyección electrónica de EMD (Electro-Motive Division de General Motors) de alta eficiencia en el consumo. Es una locomotora que ofrece una gran fiabilidad y durabilidad. Su mantenimiento requiere de un reducido número de sencillas operaciones, lo cual significa que la locomotora puede estar en servicio por largos periodos de tiempo. El alto rendimiento del motor diésel y la cadena de tracción eléctrica junto a la optimización del consumo de los equipos auxiliares posibilitan un bajo consumo de la locomotora.

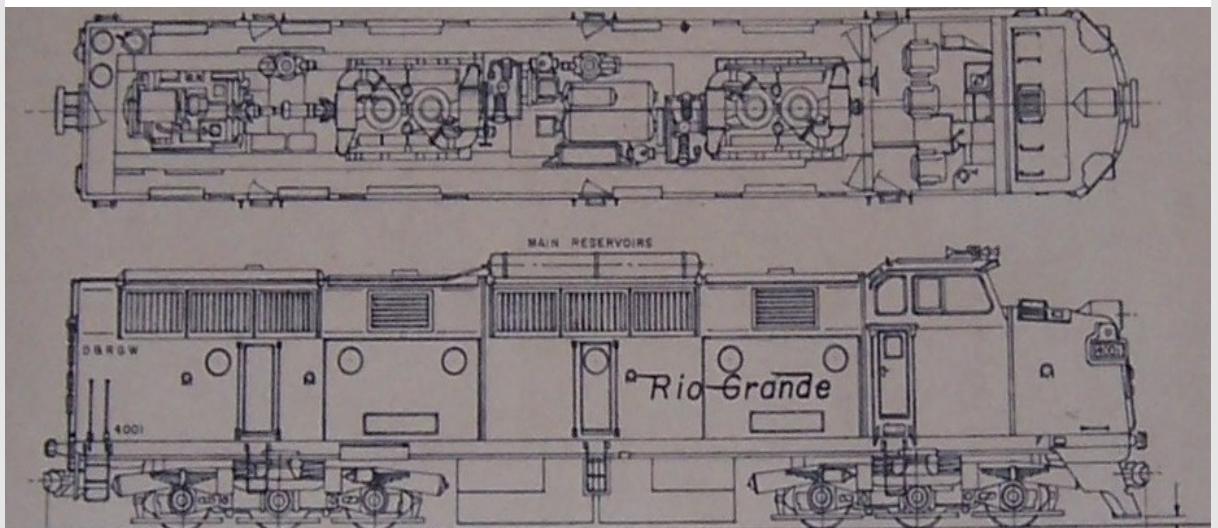
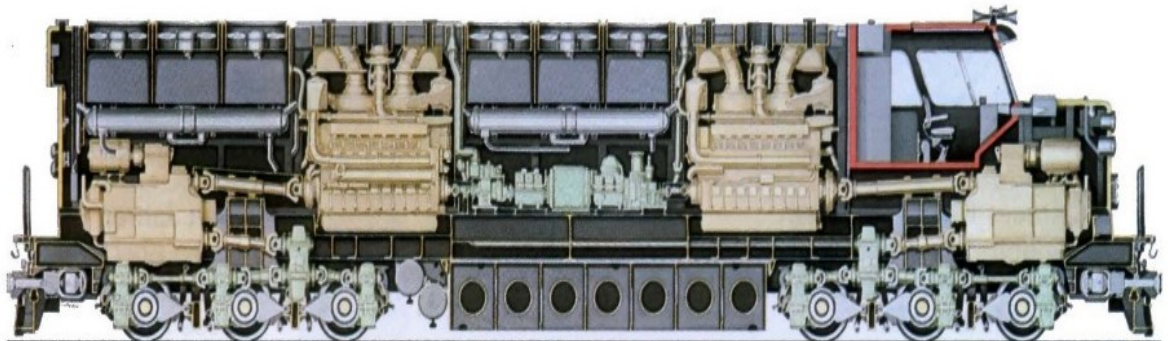
10.5. Locomotora diésel-hidráulica

Estas locomotoras tienen una gran potencia y se caracterizan porque su motor o motores diésel (pueden llevar dos) están conectados a una transmisión hidráulica, que proporciona el movimiento a los ejes de las ruedas motrices de la locomotora. La mayoría de transmisiones hidráulicas suelen ser hidromecánicas, ya que incorporan dos o más marchas para hacer su trabajo. El mecanismo permite hacer llegar la energía de forma gradual desde el motor hacia las ruedas. El principal inconveniente de este sistema es la dificultad de mover cargas muy grandes, aunque la tecnología se ha perfeccionado y hay locomotoras de este tipo que arrastran grandes convoyes.

El país dominante en la fabricación de locomotoras diésel-hidráulicas es Alemania. En la actualidad, las transmisiones hidromecánicas aplicadas al tren diésel tienen una fuerte hegemonía en los vehículos autopropulsados y en máquinas de maniobras y un papel anecdótico en los trenes formados por una locomotora que arrastra un convoy de vagones.



Locomotora alemana V200 diésel-hidráulica.

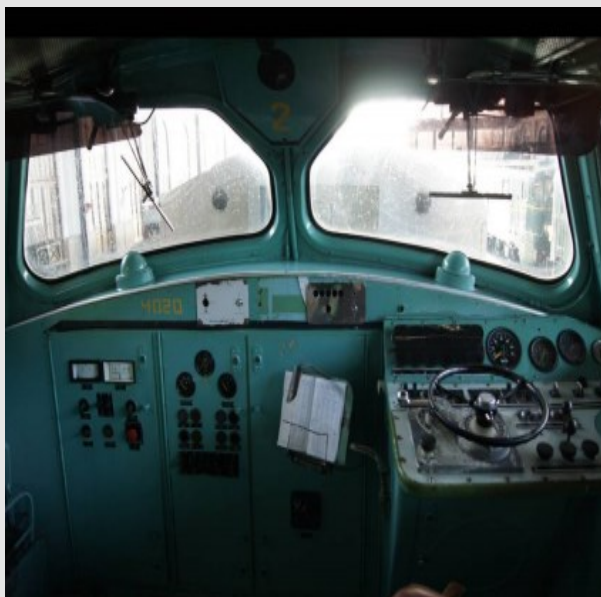


Esquema de una locomotora Krauss Maffei ML 4000.



Un sistema de transmisión hidráulica tiene las siguientes desventajas: El sistema debe ser muy preciso, no debe tener fugas y el fluido hidráulico suele ser inflamable. Todo esto supone que el mantenimiento de la transmisión ha de ser exhaustivo. Hay que recordar que locomotoras españolas como las usadas por Talgo han sufrido diversos incendios debido a la inflamabilidad del aceite y otras locomotoras han sido conocidas por ser grandes consumidoras de aceite.

Los gases de escape del motor diésel se extraen con tomas de aire situadas en el techo de la locomotora y de allí se conducen a los lados exteriores de la locomotora. El engranaje hidráulico absorbe la potencia del motor diésel para la propulsión de la locomotora y la distribución de la potencia restante entre los grupos secundarios para el alumbrado o la calefacción del tren.



Cabina de mando de una locomotora 4020 de RENFE.

Otro aspecto muy importante es el sistema de frenado de la locomotora. Hay un freno hidráulico para los engranajes que permite frenar sin que apenas se produzca desgaste. Con el freno hidráulico solo se produce calor residual con grandes potencias de freno. El sistema principal de frenado suele funcionar con aire comprimido, de forma que en las plataformas de los ejes de las ruedas se encuentran cilindros de freno, que acoplan dos zapatas de freno por rueda. Los frenos del tren son controlados desde la locomotora con conexiones de mangueras de aire comprimido.

10.6. Algunas locomotoras diésel-hidráulicas

- **Locomotora Krauss Maffei ML 4000:** Este modelo de gran potencia fue construida entre 1961 y 1969 por el fabricante alemán Krauss-Maffei para ferrocarriles de Estados Unidos y Brasil. Resultó ser una locomotora bastante fiable en términos generales, pero era una rara avis en el ferrocarril norteamericano. Su tecnología europea difería bastante de la norteamericana, de motores robustos, sencillos y confiables, pero sobre todo fáciles de mantener. Krauss Maffei ofrecía un motor de altas revoluciones. Ha sido una locomotora que básicamente arrastró cargueros de larga distancia a través de los valles californianos.



- **Locomotora 4020 de RENFE** de 1966, que alcanzaba una velocidad máxima de 130 km/h. La capacidad de combustible era de 5.000 L. Fabricada por Krauss-Maffei (Alemania) y Babcock&Wilcox (España). Las locomotoras de esta serie comenzaron a prestar servicio en la línea Madrid-Barcelona, aunque ampliaron su servicio a casi todas las líneas de la red española para la tracción de trenes rápidos y expresos. Por entonces, era la locomotora diésel más potente del mundo.



- **Locomotora de la serie 354**, fabricada en Alemania por Krauss-Maffei en 1983 para remolcar el tren Talgo pendular. Su potencia era de 4.171 CV, potencia nunca alcanzada por ninguna otra locomotora de RENFE. Dicha potencia era necesaria para poder arrastrar el Talgo pendular, que por su sistema de pendulación podía soportar una aceleración lateral mucho mayor que otros trenes convencionales, con lo que el paso por curva podía ser un 25 % más rápido y por ello la velocidad máxima de este tren era inicial de 180 km/h. Aunque años más tarde se les introdujo un nuevo puente reductor que ofrecía un engranaje más y permitió subir la velocidad máxima de esta locomotora hasta 200 km/h. Su último viaje lo realizó el 11 de diciembre de 2009, una locomotora de este tipo remolcando un tren Altaria.



11. Locomotoras eléctricas

Las **locomotoras eléctricas** funcionan con motores eléctricos, donde un motor eléctrico es un dispositivo rotativo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte al motor de combustión interna, tanto en la industria como en el transporte por ferrocarril o en el hogar. Para lograrlo, utiliza el principio del electromagnetismo que establece que una corriente eléctrica que circula por una espira o una bobina genera un campo magnético que puede interactuar con el de un imán.



Rotor, estator y ventilador de un motor eléctrico simple.

Un motor eléctrico se compone de dos partes: una fija llamada estator (de estático) y una móvil conocida como rotor (porque es la que gira), de forma que la el dispositivo rotativo se compone dos armaduras ferromagnéticas cilíndricas coaxiales, la fija (estator) y la móvil (rotor), separadas por un entrehierro.

Algunos motores eléctricos son reversibles, ya que pueden convertir energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se diseñan adecuadamente.

No hay un sólo tipo de motor eléctrico. Hay tres grandes grupos: los impulsados por corriente continua (CC) y los que su fuente de energía es la corriente alterna (CA) y que pueden ser síncronos y asíncronos.

El hecho de que un tren se pudiera mover sin realizar emisiones contaminantes con unos motores de pequeño tamaño (en comparación con los de vapor o diésel) fue toda una revolución en la historia del ferrocarril. Revolución que conllevó, por otro lado, la implementación de los sistemas de electrificación que permitieran transportar la energía eléctrica hasta su punto de consumo en la locomotora.

La principal desventaja de la electrificación de una línea de ferrocarril es el costo de la infraestructura necesaria para ello, consistente en el tendido de la línea aérea exterior para la toma de la electricidad o la existencia de un tercer raíl, y la necesidad de disponer de subestaciones eléctricas y de sistemas de control.



En Europa y en otros lugares, la red ferroviaria es considerada parte de la infraestructura nacional de transporte, al igual que las carreteras, autopistas y vías fluviales, y por lo tanto financiada por el Estado y los operadores del material rodante pagan una tasa acorde al uso de la red ferroviaria. Esto hace posible las grandes inversiones requeridas en tecnología, y a largo plazo, hace ventajosa la electrificación.

La dificultad de aplicar la tracción eléctrica en zonas con climatología extrema hace que las compañías y gobiernos se inclinen en muchos casos por la tracción diésel. La nieve intensa y su filtración por ventiladores originan derivaciones de circuitos eléctricos en la locomotora, que desaparecen al secarse adecuadamente el circuito, pero que dejan



inservibles estas locomotoras mientras dure el temporal. Las bajas temperaturas hacen que el cable de contacto con la línea aérea exterior quede inservible durante un tiempo importante, ya que este tipo de locomotoras requiere una conexión constante sin pérdidas de tensión.

Durante muchos años, las locomotoras estaban situadas en la cabeza del convoy y debían cambiar de posición cuando se invertía el sentido de la marcha. En tiempos más recientes, muchos trenes disponen en un extremo de una locomotora y en el otro de un coche de pasajeros con una cabina, lo que permite al tren circular en cualquiera de los dos sentidos sin necesidad de modificar la posición de la locomotora. En el primer caso el tren es arrastrado por la locomotora, y en el otro es empujado. También existe la variante conocida como automotor, donde no existe una locomotora como tal, sino que todo el tren es a la vez coche de pasajeros y locomotora, y se puede intercalar remolques sin tracción propia entre coches automotores.

Cuando se trata de desplazar un número elevado de vagones o de coches de pasajeros, es frecuente ver el uso de dos o más locomotoras tirando de los vagones o de coches de pasajeros, tanto en trenes de mercancías como en algunos de pasajeros. Cuando se realizaba con las locomotoras de vapor era necesario tener una dotación completa en cada una. Sin embargo, en las locomotoras diésel o eléctricas, mediante el sistema de mando múltiple, existen interconexiones que permiten manejar el tren completo desde una sola de ellas y con una sola dotación. Además, en las locomotoras antiguas, las interconexiones son eléctricas: en las más modernas, son electrónicas. En cualquiera de los tres casos siempre hay una interconexión neumática para el sistema de frenado.

11.1. Toma de la corriente eléctrica por la locomotora

Las locomotoras eléctricas existen desde finales del siglo XIX, pero el alto coste de la instalación y la juventud de la tecnología las relegaron frente a las locomotoras de vapor.

Las locomotoras eléctricas utilizan como fuente de energía la electricidad proveniente de una fuente externa para aplicarla directamente a los **motores de tracción eléctricos**. Por ello requieren de la instalación de cables eléctricos de alimentación a lo largo de todo el recorrido, que se sitúan a una altura por encima de los trenes a fin de evitar accidentes. Esta instalación se conoce como **catenaria**, debido a la forma que adopta el cable del que cuelga el cable electrificado, que debe permanecer paralelo a las vías.

Las locomotoras toman la electricidad por una estructura metálica con varios brazos articulados llamada **pantógrafo**, y que tiene en su parte superior un frotador o mesilla con unas pletinas metálicas que se "frota" por debajo de la catenaria (bajo la que desliza) para hacer contacto. Por tanto, el pantógrafo ferroviario es un mecanismo articulado que transmite la energía eléctrica de la catenaria a la locomotora y proporciona la fuerza de tracción a la misma. En otros casos, la locomotora puede tomar la corriente de la propia vía (se requiere que haya al menos un carril electrificado), sin necesidad de catenaria ni de pantógrafo.

Hay otro sistema de captación de la energía a través de la catenaria y es el **trole**, que es utilizado en tranvías y trolebuses y es una pértiga provista de muelles y situada en el techo del tranvía o trolebús, que está en contacto con el cable eléctrico de la línea en su extremo mediante una rueda metálica que gira por debajo del cable de la catenaria, tomando la corriente directamente de ahí. Se sitúa en el techo de la unidad tractora y es regulable en altura de forma automática, para poder alcanzar la catenaria independientemente de la altura a la que se encuentre el cable conductor aéreo.

Las locomotoras eléctricas se benefician de la alta eficiencia de los motores eléctricos, cercana al 90 %. Puede obtenerse una eficiencia adicional con los frenos regenerativos, los cuales permiten convertir la energía cinética del movimiento en electricidad durante el frenado y enviar corriente eléctrica a la línea. Las locomotoras más nuevas usan sistemas inversores de control de los motores CA que proveen **frenado regenerativo**.



11.2. Los inicios del ferrocarril eléctrico

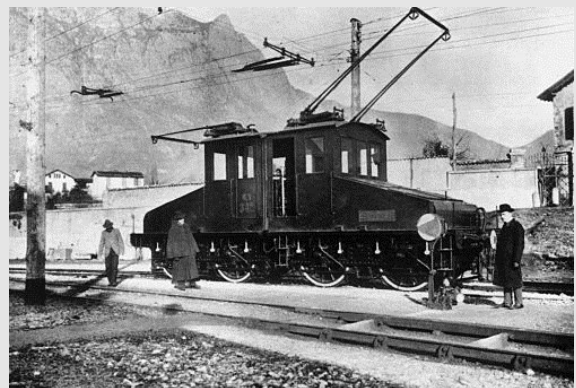
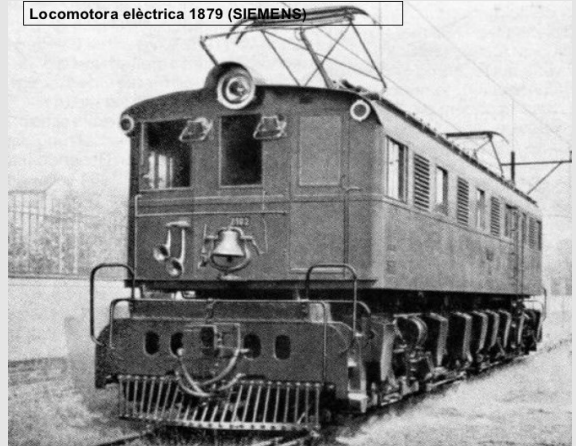
La primera locomotora eléctrica fue construida por el escocés **Robert Davidson (1804-1894)** en 1837 y era impulsado por baterías eléctricas. En 1841 presentó una versión mejorada en una exhibición de la Real sociedad escocesa de las artes, a pesar de esto no consiguió que fuese funcional en un tren ya que no tenía suficiente potencia.

El primer tren eléctrico fue presentado por el alemán **Werner von Siemens (1816-1892)** en Berlín en 1879. La locomotora era impulsada por un motor de 2,2 kW, el tren consistía de la locomotora y tres coches y alcanzaba una velocidad máxima de 13 km/h. La corriente eléctrica era suministrada por un tercer raíl aislado situado en el medio de la vía. Una dinamo estacionaria proveía la electricidad. Posteriormente, en 1881, Werner von Siemens construye la primera línea de tranvía eléctrico y fue abierta en Lichterfelde, cerca de Berlín

En 1894, el ingeniero húngaro **Kálmán Kandó (1869-1931)** desarrolla motores de corriente alterna trifásicos de alto voltaje y generadores para locomotoras eléctricas y es conocido como el padre del tren eléctrico. Su trabajo para electrificar los ferrocarriles fue hecho en los talleres eléctricos Ganz en Budapest. En 1915, formuló el principio de que las líneas ferroviarias sólo podían ser exitosas si podían usar, por medio de simples subestaciones transformadoras, directamente la frecuencia estándar de la red pública. Después de ello, creó los principios para construir una red ferroviaria al inventar un convertidor de fase rotatorio aplicable en locomotoras.

En Estados Unidos, el Chicago, Milwaukee, St. Paul and Pacific Railroad (el Milwaukee Road) electrificó su línea a partir de 1915 a través de las Montañas Rocosas y al Océano Pacífico. Sin embargo, la electrificación en Estados Unidos está más asociada con tráfico urbano denso, por lo que el centro de desarrollo pasa a Europa, donde la electrificación está generalizada.

En 1923, la primera locomotora eléctrica con un convertidor de fase fue construida sobre la base de los diseños de Kandó. El convertidor transformaba la electricidad monofásica en corriente alterna trifásica dentro de la locomotora y la línea Budapest-Hegyeshalom-Viena de 1929 del ferrocarril estatal húngaro fue construida sobre la base de este invento.



Locomotora de CA de motor trifásico 3000 V y 15 Hz, alcanzaba 70 km/h y fue diseñado por Kálmán Kandó.

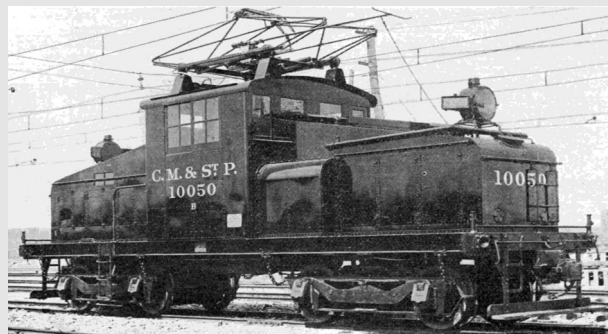


La tecnología europea de las locomotoras eléctricas está en constante evolución desde la década de 1920. Para comparación, la Milwaukee Road de 1918, pesaba 240 Tm, con una potencia de 3.330 kW y alcanzaba una velocidad máxima de 112 km/h y en 1935, la alemana E 18 tenía una potencia de 2.800 kW, pero pesaba sólo 108 Tm y tenía una velocidad máxima de 150 km/h.

En Estados Unidos el uso de locomotoras eléctricas declinó el favor de la dieselización. Las locomotoras diésel compartían algunas de las ventajas de las locomotoras eléctricas sobre el vapor, pero el coste de construir y mantener la infraestructura de la red eléctrica siempre había desalentado las nuevas instalaciones, lo que provocó la eliminación de la electrificación de la mayoría de las líneas principales fuera del noreste de Estados Unidos.

En la década de 1960 se electrifican muchas líneas europeas, incluida la Europa del Este. Pronto aparecen en Alemania y Francia locomotoras que alcanzan 200 km/h en los servicios de pasajeros.

Posteriores avances se logran gracias a la introducción de los sistemas de control electrónicos, los cuales permiten usar motores cada vez más pequeños y potentes que pueden caber enteramente en los bogies. En la década de 1980 se integran como propulsores de vehículos eléctricos ferroviarios los motores asíncronos y aparecen los sistemas electrónicos de regulación de potencia que dan el espaldarazo definitivo a la elección de este tipo de tracción por las compañías ferroviarias. Dichos motores son normalizados en la década de 1990 como **motores asíncronos trifásicos**, alimentados a través de inversores GTO.



Locomotora Milwaukee Road clase ES-2. Es una locomotora de maniobras con una gran cabina para servicios en un ferrocarril eléctrico de gran tráfico.



Locomotora alemana EP 3/6 20.102 para trenes de pasajeros de la región alemana de Baviera. Gracias a sus buenas condiciones técnicas, no fue apartada de servicio hasta 1941, después de más de 25 años de uso. Tras la desafectación, fue transformada en máquina quitanieves.



Locomotora eléctrica fabricada por la empresa francesa Alstom para Renfe de la serie 7600 de la década de 1950 y que podría alcanzar la

11.3. Características de una locomotora eléctrica

Las características principales del diseño de las locomotoras eléctricas son:

- El tipo de corriente eléctrica que utilizan, que puede ser corriente continua o alterna.
- El método para recolectar la energía eléctrica (transmisión) y para almacenarla (baterías, ultracondensadores).
- El método utilizado para conectar mecánicamente los motores de tracción con las ruedas motrices.

Una locomotora eléctrica puede ser alimentada desde un:

- Sistema de almacenamiento de energía recargable, como en las locomotoras de minas, que son alimentadas por baterías o condensadores de alta capacidad.
- Suministro fijo exterior, como el tercer raíl o una línea aérea. Esto es un marcado contraste con una locomotora diésel-eléctrica, la cual combina un motor diésel con un sistema de transmisión eléctrica.

En el suministro fijo de una línea exterior, se puede usar:

1) Corriente continua: Fue la que primero se utilizó debido a que, inicialmente, la corriente alterna no era bien comprendida y no estaban disponibles materiales aislantes para las líneas de alto voltaje. Las locomotoras de corriente continua utilizan bajos voltajes (700 a 3.000 V) y se necesita un equipamiento relativamente grande, ya que la intensidad de corriente manejada es alta para poder transmitir suficiente energía y reducir las pérdidas que se ocasionan en la transmisión de la corriente eléctrica por efecto Joule. Al no saberse cómo transformar la tensión, se tenía siempre la misma tensión de transporte, 700-3.000 V, sobre la línea de contacto y la misma es la que hace funcionar a los motores de tracción.



Ten turístico de Soller con locomotora eléctrica de corriente continua de 1.200 V.

Todo ello provoca dos consecuencias negativas:

- a) La utilización de intensidades de corriente muy altas de miles de amperios por las líneas de contacto para conseguir la potencia necesaria de la locomotora.
- b) La necesidad de emplear una catenaria de gran sección y de disponer de subestaciones próximas entre sí (del orden de a 20 Km para una línea de 1.500 V) para evitar las grandes caídas de tensión.

Mientras que la mayoría de los motores eléctricos para locomotoras se diseñan en la actualidad con corriente alterna, todavía hay hoy muchas líneas que están operativas con corriente continua con tensiones que van de los 750 V a los 3.000 V.





2) Corriente alterna monofásica: La frecuencia normal utilizada de la corriente alterna es la frecuencia industrial a 50 Hz, que surge con el objetivo de crear instalaciones ligeras e intentar integrar el ferrocarril en la red industrial.

Cuando se desarrollaron los motores de corriente alterna se convirtieron en el tipo predominante en las rutas largas. Se utiliza un voltaje alto (decenas de miles de voltios) debido a que permite el uso de bajas intensidades de corriente, ya que la pérdida de energía que se ocasiona es proporcional al cuadrado de la corriente por efecto Joule. De esta manera, una gran cantidad de energía puede transmitirse a grandes distancias usando cables más livianos y baratos y con una elevada tensión. La locomotora está equipada con transformadores que convierten esta energía en corriente de bajo voltaje para los motores.

Para alimentar los motores de tracción de la locomotora se varía la tensión de alimentación de los motores, proveyendo al transformador de tomas regulables que se encargan de pasar de la tensión de la catenaria (15 o 25 kV) a la tensión normal de los motores de la locomotora (cientos de voltios). Esto es una diferencia sustancial con del equipo de tracción de las locomotoras de corriente continua, donde la variación de la tensión de alimentación de los motores se lleva a cabo normalmente por acoplamiento de los motores.

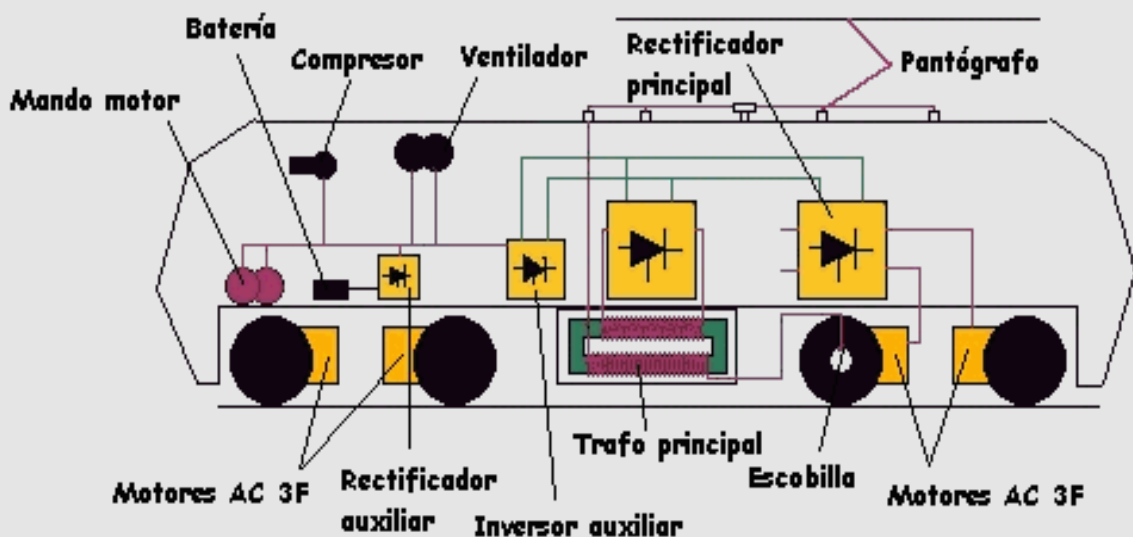


Diagrama de una locomotora con motores de corriente alterna.

3) Corriente alterna trifásica: Al principio se dejó de lado este tipo de corriente ya que pese a usar motores trifásicos, que son robustos y baratos, presentaba dos inconvenientes:

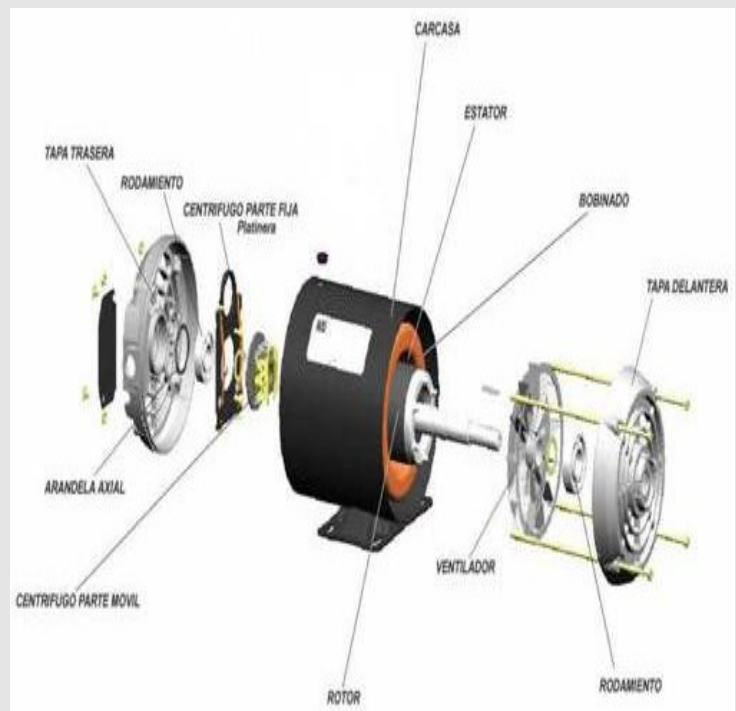
- Necesidad de instalar doble catenaria, con la vía como tercera fase.
- Dificultad para regular la velocidad, al depender ésta directamente de la frecuencia.

A partir de 1970 fue retomada esta opción eléctrica debido al gran desarrollo tecnológico que ha tenido lugar durante todos estos años, especialmente en el campo de la electrónica y al empleo de los semiconductores. Gracias a ello se ha conseguido el récord de velocidad de 515,3 Km/h.



Durante casi un siglo, los trenes eléctricos utilizaron casi en exclusiva motores de corriente continua. Sin embargo, debido a la evolución de los motores de corriente alterna y sus sistemas electrónicos de control, en la actualidad, todos los trenes nuevos utilizan motores asíncronos de inducción.

El motor de CC fue el pilar de la tracción en las locomotoras eléctricas, en las diésel-eléctricas y en los tranvías durante muchos años. Éstos consisten en dos partes, un bobinado que gira montado en un eje (el rotor), rodeado de un bobinado fijo, este último conocido como estator. El rotor es está montados en un eje central y se conectada al estator por medio de escobillas, las que mediante la presión de unos resortes, hacen contacto con la extensión del rotor conocido como colector. Al colector están conectadas



las terminales de las todas las bobinas del rotor, distribuidas en un patrón circular para permitir que la electricidad fluya en la secuencia correcta. La conexión se hace de forma que el circuito ofrezca una baja resistencia, de forma que cuando se aplica un voltaje al motor, por la ley de Ohm, la intensidad de la corriente es alta.

La ventaja de la intensidad de la corriente alta es que los campos magnéticos dentro del motor son fuertes, produciendo un elevado giro, lo que es ideal para arrancar un tren. La desventaja es que el flujo de corriente dentro del motor debe limitarse de alguna manera, ya que puede sobrecargarse y producir daños al motor y a su cableado. En el mejor de los casos, la fuerza de arranque puede exceder la adhesión de las ruedas al raíl y hacerlas patinar, por lo que tradicionalmente se han usado resistencias para limitar la intensidad de la corriente y la utilización de conmutadores, pero se provocaba problemas en el arranque a bajas velocidades.



Cabina de una locomotora eléctrica.

Las locomotoras rectificadoras, las cuales usan transmisión de CA y motores de CC, son muy comunes. Las locomotoras eléctricas avanzadas de hoy tienen motores de CA trifásica de inducción sin escobillas, que están alimentadas con inversores basados en dispositivos electrónicos como el GTO o el IGBT.

11.4. La tracción en las locomotoras eléctricas

La fuente de energía eléctrica es externa y alimenta directamente o mediante transformadores o convertidores, como los tiristores GTO o los más recientes de tecnología IGBT en los motores de tracción eléctricos. El IGBT es un dispositivo semiconductor que se aplica como interruptor controlado en circuitos de electrónica de potencia y su uso permitió utilizar motores trifásicos, síncronos y más tarde asíncronos, es decir motores más potentes, resistentes y ligeros que los de corriente continua.

Un **motor síncrono** es un tipo de motor de corriente alterna en el que la rotación del eje está sincronizada con la frecuencia de la corriente de la alimentación y la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético del estator son iguales. Los motores síncronos se usan en máquinas grandes y necesitan una velocidad constante. Por regla general, la velocidad deseada de este tipo de motor se ajusta por medio de un reóstato. Esto puede provocar un sobrecalentamiento que puede dañar el motor. Por ello, cuando se deba frenar y detener la locomotora, la mejor forma de hacerlo, es ir variando la carga hasta que la intensidad absorbida de la red sea la menor posible, y entonces desconectar el motor. Otra forma de hacerlo, y la más habitual, es regulando el reóstato, con ello se varía la intensidad y se puede desconectar el motor sin ningún riesgo.



Locomotora sueca Rc fue la primera en usar tiristores con motores CC.

En un **motor asíncrono** o de inducción de corriente alterna, la corriente eléctrica del rotor necesaria es inducida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator. Por tanto es un motor que no requiere de una conmutación mecánica como en los motores de corriente continua y en los motores grandes de corriente alterna síncronos. La transmisión trifásica de los actuales motores de inducción no tienen conmutadores sensitivos y permiten realizar más fácilmente el frenado regenerativo. La velocidad es controlada cambiando el número de pares de polos en el circuito estator y conmutando con resistencias adicionales en el circuito del rotor.

Un **motor de tracción** es un motor eléctrico que provee del giro principal de la máquina su conversión en movimiento lineal (tracción). Este motor es usado en vehículos ferroviarios de tracción eléctrica como locomotoras eléctricas, así como en vehículos con sistema de transmisión eléctrica como las locomotoras diésel-eléctricas. Tradicionalmente, eran motores de corriente continua con bobinado en serie, funcionando con una tensión del orden de 600 V. La disponibilidad de semiconductores de alta potencia (como los tiristores GTO y los IGBT) ha hecho posible desde la década de 1990 la utilización de los motores de corriente alterna, más simples y altamente confiables, conocidos como motores de tracción asíncronos.



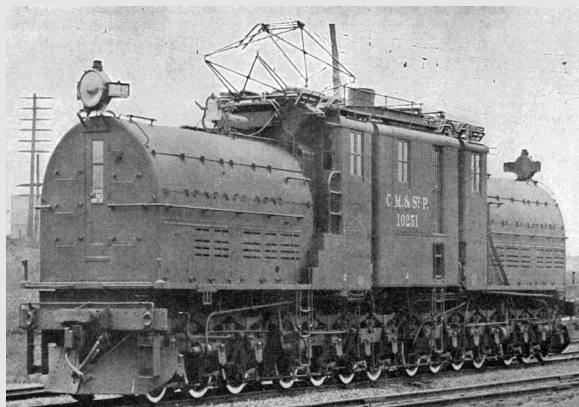
Durante el desarrollo de la propulsión ferroviaria eléctrica, se idearon varios sistemas para acoplar los motores de tracción con las ruedas. Las primeras locomotoras usaban un eje intermedio. En esta disposición, el motor de tracción está montado en el cuerpo de la locomotora y mueve el eje intermedio a través de un juego de engranajes. Este sistema era usado porque los primeros motores de tracción eran muy grandes y pesados para montarlo directamente en los ejes. Debido a la cantidad de componentes mecánicos, era necesario aplicar un frecuente mantenimiento. El eje intermedio fue abandonado, excepto en las máquinas más pequeñas, cuando se desarrollaron motores más pequeños y livianos.



Locomotora Re 420 suiza arrastrando un tren de carga cuesta abajo.

Las modernas locomotoras eléctricas, al igual que las diésel-eléctricas, usan motores montados en los ejes, con un motor por cada eje motriz. La potencia del motor al eje se efectúa por medio de engranajes, que constan de un piñón en el eje del motor y una corona en el eje motriz. El tipo de servicio al cual se destina la locomotora determina la relación de los engranajes, de forma que relaciones altas se usan en unidades de carga, mientras que las relaciones bajas son típicas de locomotoras destinadas a trenes de pasajeros.

La tracción eléctrica permite usar **frenos regenerativos**, en el cual los motores son usados como frenos y se convierten en generadores que transforman el movimiento del tren en energía eléctrica que es inyectada a la línea eléctrica. Este sistema es ventajoso en zonas de montaña, donde las locomotoras que descienden pueden producir una buena parte de la energía que requieren los trenes que ascienden. Hasta mediados del siglo XX, a menudo se utilizaba un sólo motor grande para mover varios ejes de tracción, acoplados mediante bielas, muy similares a las usadas en las locomotoras de vapor. La práctica estándar hoy día es utilizar un motor de tracción por cada eje motriz, acoplado con una caja reductora. Usualmente, los motores de tracción están suspendidos por tres puntos, entre el marco del bogie y el eje motriz. El problema de esta disposición es que una parte del motor no tiene apoyo, incrementando las fuerzas sobre el bogie. Las locomotoras eléctricas bipolares construidas por General Electric para el Milwaukee Road no tenían caja reductora. El eje del motor era también el eje de las ruedas. Si se monta cada motor en el chasis de la unidad motriz en lugar del bogie, se obtiene una mayor dinámica que permite operar a altas velocidades.



Locomotora eléctrica Milwaukee Road EP-2 bipolar.

11.5. El control de la energía en una locomotora eléctrica

Los motores de la locomotora requieren de una potencia concreta en cada momento, por lo que los sistemas de electrificación de las infraestructuras deben suministrar energía con unos valores prácticamente constantes. Adaptar la intensidad de la corriente a las necesidades de la marcha es una tarea importante y afecta a la cadena de tracción. Por tanto, entre el sistema de alimentación y el motor hay siempre un dispositivo de control de la electricidad.

En las primeras locomotoras dicho control se realizaba por un **sistema reostático**, que controlaba la intensidad de la corriente mediante un grupo de resistencias. Su principio de funcionamiento es la ley de Ohm, ya que a un voltaje constante, la intensidad de la corriente es mayor cuando hay menos resistencia. Por lo tanto, lo que se usaban eran resistencias que disipaban la energía en forma de calor para ir regulando la intensidad de corriente que llega al motor. El sistema de control de las resistencias para los trenes reostáticos fue principalmente mecánico, aunque ya en la década de 1970, con el chopper acechando, se logró aplicar la electrónica de control para mejorar el uso de las resistencias.

En el medio ferroviario, el **chopper** se utiliza como control o regulador electrónico de potencia de los motores y de freno eléctrico (con recuperación de potencia a línea) en sustitución de los métodos electromecánicos, lo que permite conseguir un gran ahorro de energía, lograr una mayor suavidad en la marcha. También un chopper es un interruptor electrónico que se usa para cerrar o abrir una señal eléctrica bajo el control de otra. Dado que los circuitos electrónicos son de corriente continua se necesita el chopper (ondulador) para convertir la corriente continua a la corriente alterna para que el motor reciba la corriente necesaria para cada fase de la marcha.

En España, por ejemplo, es notable la diferencia entre la marcha del último tren reostático de RENFE, la serie 448, y el primero con chopper, la serie 446. Si bien el chopper en el tren eléctrico fue un gran avance, su uso fue efímero en comparación con el sistema reostático, porque rápidamente fue reemplazado por sistemas electrónicos más eficientes a principios de la década de 1990 con el uso de los tiristores GTO y los transistores IGBT.



Locomotora de la serie 446 de RENFE para trenes de cercanías, de 2.400 kW de potencia que permiten una aceleración de 1 m/s^2 al arrancar pero su velocidad máxima es de 100 km/h.



Locomotora de la serie 448 para servicio de los trenes Intercity, que alcanzaban una velocidad máxima de 160 km/h.



11.6. Algunas locomotoras eléctricas famosas de RENFE

- La **serie 269** de entre 1973 y 1985 ha sido la serie más importante y extensa de locomotoras eléctricas de RENFE. Eran locomotoras que tenían una potencia de 3.100 kW (4.250 CV) que operaban a la tensión de 3 kV en CC y circulaban a la velocidad de 140-160 km/h, aunque las últimas alcanzaban 200 km/h. A pesar de la importancia que han tenido, la mayoría de ellas ya han terminado su ciclo de vida y se han ido sustituyendo por locomotoras de más potencia, de la serie 252 para trenes de viajeros, o la serie 253 para trenes de mercancías.



- La **serie 279** entregadas entre 1967 y 1968. Esta serie, al igual que la serie 289, sirvió para cubrir el problema de la coexistencia de líneas de 1.500 V CC y líneas de 3.000 V CC, ya que en aquel entonces según la zona la electrificación era diferente. Estas locomotoras eran bitensión, y por ello tenía la capacidad de poder circular en cualquier línea electrificada de RENFE. La serie 279 tenía un bogie monomotor birreductor, lo que le permitía tener diferentes características dependiendo de si iba a realizar un transporte de viajeros o por el contrario uno mercancías. La velocidad máxima que ofrecían sus motores de 2.750 kW de potencia era 130 km/h para el transporte de viajeros y 80 km/h para mercancías.



- La **serie 289** es una serie de locomotoras eléctricas de fabricación japonesa entregada entre 1969 y 1972, similar a la serie 279 de Renfe en cuanto estructura aunque algo posterior y con más potencia. Su potencia era de 3.100 kW. A finales de la década de 1990 con las locomotoras que aún estaban en fun-



cionamiento se decidió realizar unas modificaciones uniendo dos unidades como una única locomotora para formar un tándem en mando múltiple, pero al ser el acoplamiento definitivo las cabinas enfrentadas se eliminaron y se añadió a ese espacio elementos de las cabinas para mayor comodidad de los maquinistas. Esta subserie pasó a ser una locomotora de potencia de 6.200 kW (4.200 C) y alcanzaba una velocidad máxima de 140 km/h en trenes de pasajeros.



- La **serie 252** es de gran potencia y de una elevada complejidad tecnológica. Desde su puesta en servicio comercial en 1992, se ha convertido en la locomotora de los trenes de larga distancia, tanto en ancho ibérico como en ancho estándar, en los dos casos desarrollando velocidades máximas de hasta 200 km/h. La Renfe Serie 252 es el antecedente directo de la familia de locomotoras Europrinter de Siemens y Krauss-Maffei.



- La **locomotora eléctrica Siemens EuroSprinter ES644 P** es el nombre de una familia de locomotoras eléctricas fabricada por Siemens Transportation Systems y Krauss-Maffei y que es utilizada por numerosas compañías ferroviarias. Su potencia es de 6.400 kW y alcanza una velocidad de 230 km/h.



- La **Serie 253** es una serie de locomotoras eléctricas de última generación de Bombardier, que está siendo entregada desde 2006 para tráfico de mercancías. Ofrece una potencia de 5.600 kW y está propulsada por una serie de diferentes convertidores de potencia GTO y controles de tracción Mitrac TC 3300 IGBT y un módulo de transmisión para desarrollar una velocidad máxima de 140 km/h.

Estas locomotoras tienen un ancho fijo de 1.668 mm, ancho ibérico, aunque como a todo el material nuevo que adquiere Renfe se le pueden instalar bogies de ancho estándar.

Las locomotoras están preparadas para funcionar a 3 kV en CC, por lo que no pueden funcionar en los trazados de alta velocidad. Esta serie de locomotoras es monotensión, estando preparadas para funcionar únicamente bajo una tensión de 3 kV en corriente continua, por lo no podrán funcionar en los trazados de alta velocidad aptos para mercancías que se están construyendo en la actualidad.



12. El tren Talgo

El **Talgo** es un tipo de tren formado por una composición articulada de coches cortos, de aluminio y más bajos que los tradicionales, diseñado y construido por la empresa española Patentes Talgo. Su nombre son las siglas de Tren Articulado Ligero Goicoechea Oriol, en atención a su diseñador Alejandro Goicoechea y al financiero que apoyó sus investigaciones y la fabricación de los primeros trenes construidos con ese sistema, José Luis Oriol Urigüen.



Los trenes Talgo aportan innovaciones en varios conceptos. Se concibieron desde el principio con el objetivo de mejorar significativamente la seguridad, el confort de los viajeros, los tiempos de recorrido y la eficiencia operativa y económica de la explotación. Desde la puesta en servicio del primer tren Talgo, el Talgo II, el 14 de julio de 1950, este objetivo permanece y cada nueva generación Talgo aporta innovaciones que permiten mejoras en cada uno de los campos antes mencionados.

El material Talgo se diferencia del material convencional en muchos aspectos. Para un observador no técnico impacta su peculiar aspecto: altura de la composición inferior a la de los demás trenes, coches cortos y ausencia de separación clara entre coches. Este peculiar aspecto es debido a la aplicación de dos conceptos fundamentales de los trenes Talgo: la composición articulada y que los coches son más ligeros que los convencionales.

Las composiciones Talgo se caracterizan por tener un sistema de rodadura completamente diferente al de los coches de trenes convencionales, concepto que se apoya en la existencia de ruedas independientes y guiadas (en curva, las ruedas no son guiadas por el raíl, más bien sobre el raíl).

Al ser más bajo el tren, tiene el centro de gravedad en una posición que da mayor estabilidad, mientras que al ser ligeros, la misma potencia de la locomotora le permite mayor velocidad. Por su parte, la ligereza ha permanecido como una constante en todos los desarrollos Talgo (desde el Talgo III, todo el material Talgo ha sido construido en aleaciones de aluminio). Por otra parte, la combinación de estos conceptos permite tener soluciones originales para cambio automático de ancho de vía y la **pendulación** natural, basado en la incorporación de una columna metálica sobre cada rueda, lo que sitúa la suspensión neumática a la altura del techo de los remolques por encima del centro de gravedad, con lo que los remolques se inclinan de forma natural hacia el exterior de las curvas por efecto de la fuerza centrípeta, lo que permite alcanzar una mayor velocidad en curva.



Talgo 0: El 21 de agosto de 1941, Alejandro Goicoechea llevaba a cabo con éxito la prueba de una solución singular para el guiado de los ejes de los vehículos ferroviarios. Parece ser que la idea surgió al ver a un empleado de un parque infantil guardar los triciclos montando la rueda delantera de cada uno de ellos en el eje del precedente. Su estructura rodante alcanzó 75 km/h entre Leganés y Villaverde. Poco tiempo después, el 28 de octubre de 1942, se constituía Patentes Talgo, S.A. con el objetivo de desarrollar industrial y comercialmente este nuevo sistema. El Talgo 0 fue el primer tren experimental, estaba compuesto por tan solo la cadena de rodadura, formada por triángulos y rodales (las ruedas independientes y guiadas de los coches Talgo se denominan rodales) para probar el funcionamiento del sistema.

Talgo I: Fue diseñado y construido antes de la aportación de capital de Oriol. Estaba formado por un automotor fabricado en 1942 y siete coches. Su finalidad fue la de demostrar el funcionamiento del nuevo sistema de rodadura inventado por Goicoechea. Disponía de 200 CV de potencia proporcionada por un motor diésel y alcanzó en pruebas 115 km/h. Tenía un curioso diseño, con el extremo imitando la cabeza de un tiburón. Después de 3.000 km de pruebas fue destruido el 5 de febrero de 1944 en un incendio mientras se encontraba guardada en un local cerrado, con acceso restringido. Las circunstancias de dicho incendio nunca fueron aclaradas, pero se cree que los recelos ante un tren tan novedoso hicieron que algún fabricante, temeroso de su éxito, tratara de destruir su desarrollo de esta manera.



Talgo II: Fue la primera serie encargada con la finalidad de operar servicios regulares de pasajeros. Se fabricó en Estados Unidos por la American Car and Foundry (ACF) debido al estado de la industria española tras la Guerra Civil.

Inició el servicio comercial el 2 de marzo de 1950 en la línea Madrid-Estación del Norte-Valladolid-Campo Grande. Con aspecto exterior de estilo art decó y velocidad máxima de 120 km/h, estaba basado en los vagones de los expresos norteamericanos de los años 1930-1950, con un vagón observatorio redondeado en el extremo final del tren.

Fueron retirados del servicio el 15 de enero de 1972, con más de 8 millones de kilómetros realizados por cada composición de tren.





Talgo III: Circuló entre 1964 y 2010. La serie estaba formada por composiciones y “mansos”, unos furgones generadores cuya función era la de servir de nexo de unión entre locomotoras de cualquier tipo y la composición, sin necesidad de que las locomotoras dispusieran de topes especiales. Además, los Talgo III eran bidireccionales y no unidireccionales, como los Talgo II. En los Talgo II y III las planchas exteriores de aluminio iban remachadas, dándoles un aspecto característico.



Al Talgo III se le incorporó un sistema que permitía, pasando por un cambiador de ancho especialmente habilitado, cambiar el ancho de ibérico a ancho internacional y viceversa en muy poco tiempo. Los coches dotados de este sistema recibieron el nombre de Talgo III RD. Esta tecnología permitió en 1968 la circulación del primer tren directo entre Madrid y París en pruebas, iniciando en 1969 su servicio comercial regular entre Barcelona y Ginebra, servicio conocido como Catalan Talgo. Fue el único tren español que perteneció al selecto grupo europeo de trenes Trans Europ Express. En 1974 se inauguró otro servicio que combinaba el sistema RD con nuevos coches camas -Talgo III RD Camas- denominado Barcelona Talgo que unía cada noche Barcelona y París en ambos sentidos.

Las composiciones Talgo III RD tenían algunas diferencias respecto a los Talgo III. No necesitaban los mansos para el guiado del primer rodal; cualquier locomotora podía hacerlo directamente si se regulaba adecuadamente la presión de sus topes. Además, al ser las composiciones RD más largas, habitualmente de 12 a 16 coches en los RD diurnos y de 16 a 20 coches los RD nocturnos, fue necesario colocar dos coches generadores en ambos extremos. La última composición convencional que circuló hizo su último servicio el 26 de julio de 2009, mientras que la versión RD realizó su último servicio el 18 de diciembre de 2010.

Talgo 4 o Talgo Pendular: Incorpora la tecnología de pendulación, ya que los coches “colgaban” de la suspensión. Al igual que se había hecho con los Talgo III RD, se eliminaron los mansos. Además las composiciones Talgo Pendular podían ser traccionadas con cualquier locomotora convencional, lo que simplificó mucho su explotación, pues hasta entonces se había necesitado ser remolcadas por locomotoras específicas. Para las composiciones cortas diurnas se instaló un furgón generador extremo, para las nocturnas, generalmente más largas, se solía utilizar dos coches generadores extremos.

Además de la pendulación, las composiciones Talgo Pendular incorporaron la soldadura de aluminio de la carrocería utilizando técnicas provenientes de la aeronáutica. Las primeras composiciones comenzaron el servicio el 15 de julio de 1980, con una estética más moderna y menos rompedora que las serie III. Toda la serie estaba formada por composiciones de rodadura fija en ancho ibérico, con una velocidad máxima de 180 km/h.



Talgo 5: Fue una versión de la serie 4 dotada de rodadura desplazable destinada a los servicios internacionales. El sistema RD era más caro y complejo de mantener que la rodadura fija convencional; los Talgo Pendulares nocturnos recibieron el nombre comercial de Trenhotel por parte de Renfe, tanto los que hacían recorridos internos en España como los internacionales.

Talgo 6 o Talgo 200: La serie fue realizada como una mejora de la serie 5. Su origen está muy vinculado a la inauguración, en 1992, de la primera línea de alta velocidad en España, la Madrid-Sevilla. Al construir la línea en ancho internacional, se hizo necesario que trenes de ancho variable pudieran entrar en la línea, para aprovechar sus mayores prestaciones y salir de ella cambiando de ancho para llegar a otros destinos fuera de ella. Empezaron a utilizarse el 28 de mayo de 1989 en la línea Barcelona-Berna y el 31 de mayo de 1993 en la línea Madrid-Málaga (utilizando la línea del AVE hasta Córdoba) con varias relaciones diarias.



Talgo 7 o Talgo 250: En un principio se componía de composiciones simples de rodadura desplazable, con un diseño mejorado y adaptadas para circular a 250 km/h arrastradas por locomotoras, sin furgones generadores.



Dada la mayor velocidad a la que iban a circular, se presurizó los coches Talgo 250 para evitar las ondas de presión en los túneles y se aumentó la potencia de frenado. También se colocaron los generadores de aire acondicionado en la parte inferior de los coches y no en el lateral, lo que baja el centro de masas y aumenta el espacio interior.



Las composiciones eran originalmente de 9 coches, después aumentadas a once y transformadas en las composiciones denominadas Talgo 250. Al ser conectadas de forma fija a una locomotora en cada extremo, pasaron de ser composiciones remolcadas a material autopropulsado. Las tractoras también iban dotadas de cambio de ancho. Este hecho eliminó la necesidad de cambiar la locomotora en los cambios de ancho, haciendo el proceso mucho más rápido.



Talgo 350: Son composiciones de alta velocidad diseñadas para admitir velocidades de 350 km/h en composición en forma de automotor. Forman parte de los trenes AVE desarrollados por Talgo y Bombardier. Está formado por una locomotora de 4.000 kW con motorización Bombardier.



El peculiar morro aerodinámico de estos trenes, similar a la forma del pico y la cabeza de un pato, ha hecho que se les conozca habitualmente como “patos”.

Talgo AVRIL G 3: Es la serie más actual, cuyo prototipo se encuentra en fase de pruebas en vía. AVRIL es una plataforma de trenes de alta versatilidad y muy alta velocidad de la empresa Patentes Talgo. Su nombre proviene del acrónimo de Alta Velocidad Rueda Independiente Ligero. El primer prototipo, el G3, ya está homologado, mientras que el próximo, el G4, se encuentra en fase de desarrollo.



Sus principales ventajas son las características propias de los trenes Talgo: articulados, ligeros, con coches cortos y rodales independientes guiados, la disponibilidad de una gran variedad de configuraciones que le permiten operar en mercados muy diferentes, y el espacio interior disponible, a la vez que mantiene la accesibilidad propia de un tren de un solo piso, sin rampas ni escalones. Además, tiene el piso más bajo que el resto de trenes lo que, junto con el mayor número de puertas al tener coches más cortos, ayuda a la reducción del tiempo de subida y bajada de viajeros.

La plataforma o familia de trenes «AVRIL» está diseñada para una velocidad comercial de hasta 380 km/h, y persigue una máxima rentabilidad mediante mayor capacidad y menores costes de operación que los trenes de alta velocidad actuales. Dentro de la plataforma podrá haber versiones de ancho fijo o variable, de tracción eléctrica, diésel o dual (híbrida), de caja ancha o normal; incluso podrá haber versiones con pendulación, aunque solo con caja normal. En el futuro el Talgo Avril G4 será una versión mejorada del Avril G3, con más capacidad para transportar viajeros

Talgo 8: Es una serie de composiciones sin tracción derivadas del Talgo 7, con remolque-cabina, y diseñada para los Estados Unidos cumpliendo con su normativa. **Talgo 9:** Es una serie de composiciones sin tracción derivadas del Talgo 6 y diseñada para la Unión Aduanera: Federación Rusa, Kazajstán y Bielorrusia, cumpliendo con su normativa y los requerimientos necesarios para muy bajas temperaturas.

13. Tren de alta velocidad

Tren de alta velocidad (TAV) es un tren rápido o tren bala que alcanza velocidades superiores a 200 km/h sobre líneas existentes actualizadas y 250 km/h sobre líneas específicamente diseñadas para tal efecto. Su elevada velocidad les permite competir con el transporte aéreo para distancias medias, del orden de los cientos de km. En todos los casos se trata de vehículos y vías férreas desarrolladas de forma conjunta, dado que las velocidades alcanzadas requieren de técnicas específicas.

Hace ya más de medio siglo que se sabe que algunos trenes corrientes podían alcanzar velocidades del orden de 300 Km/h aplicando mayor potencia de tracción. Pero estas enormes velocidades se consideraron de imposible aplicación porque los coches dañaban seriamente las vías y su conservación requería mucho esfuerzo y era excesivamente caro.

El tren de alta velocidad representa la última generación del ferrocarril en el mundo. Japón y varios países europeos llevan más de treinta años realizando grandes inversiones en ferrocarril de gran velocidad para unir sus principales ciudades.

Al tratarse de vehículos y vías férreas desarrolladas de forma conjunta, las velocidades que alcanzan estos ferrocarriles requieren de técnicas específicas, en cinco principios básicos:

- **La estructura del tren:** Como la locomotora de la línea de alta velocidad es capaz de superar 250 km/h, un tren de alta velocidad es una composición indeformable con un número determinado de remolques y dos cabezas motrices, una en cada extremo (es decir, que no se pueden separar unos coches de otros como en los trenes convencionales).

Un tren pesado somete a las vías a mayor esfuerzo que un tren ligero, aumentando en consecuencia el coste de mantenimiento y el consumo de combustible, por ello para proteger las vías los trenes rápidos han de pesar lo menos posible y ello se logra:

- a) Fabricando los coches con materiales ligeros.
- b) Aligerando los motores de tracción sin sacrificar la potencia gracias a nuevos diseños y a la utilización de materiales ligeros.
- c) La reducción del peso de los transformadores, que tienen la misión de suministrar diferentes voltajes y potencias para los motores, con la utilización de láminas de aluminio y de acero aleado con cobalto en lugar de hilos de cobre.





- **La señalización de la línea:** Las altas velocidades a las que se circula no son visibles las señales convencionales y se requiere la visualización de las indicaciones de velocidad en la cabina del maquinista. Sofisticados sistemas de control, como el ERTMS, vigilan el estricto cumplimiento de todas las órdenes de circulación que se transmiten al maquinista. Los maquinistas están en contacto permanente con el puesto de control mediante equipos de radio, como el GSM-R para comunicar cualquier orden o consulta que requieran.

- **Las vías** tienen unas curvas con radios superiores a las de las líneas convencionales (como máximo de hasta 500 m), como mínimo 3.000 o 3.500 m.

- **Los túneles** tienen una sección mucho mayor que en las líneas convencionales, para evitar el efecto aerodinámico debido al cruce de trenes a tan altas velocidades.

- **La mecánica del tren:** Al aumentar mucho la velocidad del tren aumentan también las vibraciones producidas por el contacto de las ruedas con los raíles. Este problema se soluciona de dos maneras:

a) Se recurre a separar más la distancia entre los bogies que la que tienen en los trenes convencionales, consiguiendo así una mayor estabilidad.

b) Se instalan sistemas que inclinan el tren para que realice el seguimiento de las curvas, de esta manera los coches pueden pivotar sobre los bogies e inclinarse para contrarrestar las fuerzas que actúan sobre el tren y los pasajeros.

El sistema de frenado es asimismo más potente de lo común y emplea diversos sistemas:

a) El empleo del motor de tracción como generador de corriente utilizando la energía que desarrolla el tren, de tal manera que reduce la velocidad a medida que va produciendo energía eléctrica, la cual a su vez es devuelta a la línea de alimentación pasando por la catenaria aérea para alimentar a otros trenes que circulen por la misma línea o bien para la regulación de la temperatura ambiente u otros usos del propio tren.



b) También se usan frenos convencionales de disco, de alta potencia.

El sistema de suspensión utilizado es doble y se revisa de manera especial, ya que si bien las líneas de alta velocidad no tienen apenas defectos en las vías cualquier posible irregularidad, por pequeña que sea, tiene una repercusión importante a la velocidad que se van a franquear. El sistema de suspensión doble anteriormente comentado es una mezcla de suspensión neumática y de muelles de acero.

13.1. Algunos trenes de alta velocidad

- **Japón:** Fue el primer país en construir vías férreas dedicadas a la alta velocidad. Debido a la naturaleza montañosa de parte del país, las líneas existentes presentaban un ancho de vía estrecha (1.067 mm), las cuales no podían ser adaptadas a velocidades superiores, además de un gran tráfico que impedía agregar más trenes. Por lo que Japón tenía una gran necesidad de implantar un nuevo sistema ferroviario respecto a otros países.



Tren Shinkansen de la serie E5 que opera desde 2011

Los japoneses fueron los pioneros de la alta velocidad ferroviaria en el mundo con sus "**trenes bala**". **Shinkansen** es la red ferroviaria de alta velocidad de Japón, operada inicialmente por la compañía Japanese National Railways JNR. Desde que en 1964 se abrió la línea Tōkaidō Shinkansen la red se ha ido expandiendo para conectar la mayor parte de las ciudades de las islas de Honshū y Kyūshū, con una longitud de 3.050 km y sus trenes alcanzan unas velocidades de hasta 320 km/h.

- **China:** Es un país que está realizando importantes inversiones en trenes de levitación magnética de alta velocidad. El **Maglev Transrapid** es el primer tren chino de alta velocidad, que hace su recorrido desde el aeropuerto de Pudong a Shanghai a una velocidad punta de 430 km/h desde 2004. El 26 de diciembre de 2012, China inauguró una nueva línea de tren de alta velocidad, que discurre desde Pekín a Cantón. La longitud de la línea es de 2.298 km y es la línea de tren de alta velocidad más larga del mundo. La velocidad de la vía es de 300 km/h.



El transporte de levitación magnética utiliza un gran número de imanes para la sustentación y la propulsión del tren a base de la levitación magnética. Este método tiene la ventaja de ser más rápido, silencioso y suave que los sistemas de transporte público sobre ruedas convencionales. La mayor velocidad obtenida hasta ahora es de 603 km/h en 2015.

La ausencia de contacto físico entre el raíl y el tren hace que la única fricción sea con el aire, y esta se reduce al mínimo por su forma aerodinámica. Los trenes Maglev pueden viajar a muy altas velocidades, con un consumo de energía elevado para mantener y controlar la polaridad de los imanes y con un bajo nivel de ruido. Como inconveniente destaca el alto costo de las líneas, lo que ha limitado su uso comercial. Este alto costo se deriva del altísimo costo de la infraestructura necesaria para la vía, del sistema eléctrico, y otro no menos relevante es el alto consumo energético del tren.



- **Europa** cuenta con la red ferroviaria de alta velocidad mayor del mundo, ya que países como Francia, Alemania, Italia y España son potencias en temas de alta velocidad.

a) Italia tiene una red con trenes **Le Frecce** (las flechas). Dentro del común denominador de "Frecce" se han creado tres clases, atendiendo a la velocidad que desarrollan esos trenes. Así los más veloces, en el entorno de 300 km/h, son llamados



"Frecciarossa" (Flecha roja), otros que circulan por las líneas de alta velocidad hasta 250 km/h son los "Frecciargento" (Flecha de plata) y trenes compuestos de coches convencionales reformados y remolcados por potentes locomotoras, que circulan en torno a 200 km/h por las líneas convencionales, se denominan "Frecciabianca" (Flecha blanca).

b) Tren de alta velocidad francés TGV de la SNCF: El servicio de Alta Velocidad en Francia comienza en 1981. Inicialmente, la velocidad máxima era de 260 km/h, aunque posteriormente se subió hasta los 270 km/h. Actualmente Francia dispone de una extensa red en cuanto a servicios ferroviarios de Alta Velocidad. Esta es de carácter claramente concéntrico, teniendo a París como centro de la red. El 3 de abril de 2007, un tren Alstom V-150 batió el récord mundial de velocidad sobre raíles al circular a 574,8 km/h en uno de los tramos de la nueva línea de alta velocidad de París a Estrasburgo.

c) El Eurostar: Cruza el Canal de la Mancha, uniendo Francia con Inglaterra a través del eurotúnel, que fue inaugurado en 1994. La travesía dura 35 minutos entre Calais (Francia) y Folkestone (Reino Unido). Tiene una longitud de 50 km, 39 de ellos submarinos, con una profundidad media de 40 m. El servicio ferroviario por eurotúnel tiene dos variantes: el Eurostar, para pasajeros con trenes que circulan a 300 km/h, excepto en el túnel, donde lo hacen a 140 km/h, y el Shuttle, que transporta camiones, automóviles y motos.

d) Alemania: Los trenes ICE fueron desarrollados a partir de 1985 por Siemens AG. La primera generación, conocida como "ICE 1", alcanza una velocidad máxima de 280 km/h y están formados por dos unidades motrices, una en cada extremo, y entre 10 y 14 remolques. Posteriormente se desarrolló una variante llamada "ICE 2", que entró en funcionamiento en 1997. La diferencia con el



primer tipo consiste en que los convoyes se pueden dividir en dos mitades iguales, para aquellos trayectos en los que interesa disponer a partir de una determinada ciudad trenes con menor capacidad que se dirigen a dos destinos diferentes. Desde 2000 circulan los "ICE 3", la versión más moderna que alcanza la velocidad de 330 km/h.



13.2. Trenes de alta velocidad de España

A finales de la década de 1980 se empezó a proyectar en España la construcción de una línea de alta velocidad, a inspiración de la realizada por Francia (el TGV). Tras varios años de proyectos, se llegó a la conclusión de que una línea en ancho internacional sería acertada, ya que permitiría aprovechar trenes e instalaciones probadas en Europa, y se propuso la creación de la primera línea de alta velocidad en España.

La primera línea se inauguró el 14 de abril de 1992, coincidiendo con la Expo 92 de Sevilla. En sus dos primeros años de funcionamiento, el AVE circulaba entre Madrid y la capital andaluza en 2 horas y 55 minutos, con paradas intermedias en Ciudad Real, Puertollano y Córdoba. El 23 de abril de 1993 se alcanzó el récord de velocidad de los trenes AVE con 356,8 km/h, lo que permitió que en 1994 se iniciase la explotación comercial a 300 km/h en los trenes AVE de larga distancia, reduciéndose en 40 minutos la duración del trayecto entre Madrid y Sevilla.



Red de alta velocidad de España en 2017.

Con la construcción de la primera línea ferroviaria de alta velocidad se destina algunos de sus trenes para circular en la red de ancho ibérico. Para ello se reemplazan su bogies originales por otros de 1.668 mm, y se presta un servicio de gran calidad en la zona del Mediterráneo con el nombre de **Euromed**, que se inaugura en 1997 entre Barcelona, Tarragona, Castellón de la Plana, Valencia y Alicante (523 km) con una duración inferior a 5 horas.

Altaria es el nombre comercial que reciben los servicios ferroviarios diurnos de largo recorrido con trenes Talgo prestados por Renfe en España desde 2001. Se realiza con una rama Talgo de las series IV o VI, arrastrada por una locomotora de las series 252 o 334. Es un servicio de gama media prestado con una velocidad máxima de 200 km/h.

Alvia se caracteriza por poseer trayectos que combinan tramos de alta velocidad con tramos a menor velocidad sobre vías de ancho convencional. A diferencia de los trenes AVE, que sólo pueden circular por vías de ancho adaptado a la alta velocidad, los trenes Alvia poseen un sistema de cambio de ancho por el cual pueden ejercer trayectos mixtos sobre ambos tipos de vía. El Alvia se diferencia del Altaria, en que puede realizar el cambio de ancho sin necesidad de detenerse ni cambiar de locomotora en el proceso, lo que proporciona menores tiempos de viaje. Los trenes Alvia circulan a una velocidad máxima de 250 km/h en líneas de ancho internacional y a una velocidad máxima de 200 km/h en líneas ancho convencional y el servicio se realiza con trenes de las series de Talgo 7.

14. El impacto del ferrocarril en el desarrollo del territorio

El desarrollo del ferrocarril a lo largo de su historia ha sido esencial en la organización del territorio y en la reestructuración de las redes de ciudades, pues dio protagonismo a las que se convirtieron en **nodos del sistema ferroviario**. Las ciudades que quedaron al margen del trazado de la red tuvieron dificultades para competir con las otras en el desarrollo económico.

En general, el ferrocarril se instaló por la actuación de grandes grupos económicos, organizados primeramente en los países industrializados y en sus colonias y territorios dependientes. Actuó como integrador de mercados nacionales y pudo ser también la columna vertebral de los imperios, como, por ejemplo, en el caso británico, tanto en la India como en África.



En numerosas ocasiones lo que hicieron las líneas ferroviarias fue seguir rutas terrestres ya existentes y que funcionaban desde tiempos atrás, aunque adaptando el trazado a sus propias exigencias. El diseño final de la red ferroviaria se vio también afectado por otros factores, tales como las consideraciones estratégicas, como la necesidad de conectar con los puertos y las plazas fuertes militares, la existencia de áreas productivas de especial interés, como minas y sectores agrícolas para la exportación, o las necesidades de la conexión con otros países. Pero, de forma general, puede afirmarse que la red ferroviaria se configuró durante el siglo XIX en relación, sobre todo, con el tamaño y el dinamismo económico de las poblaciones existentes, de acuerdo con las dos primeras revoluciones industriales existentes.

Las compañías ferroviarias iniciaron las líneas en las ciudades más pobladas y dinámicas, con el objetivo de conectar grandes núcleos, pero, al mismo tiempo, tratando de servir a todos los intermedios de algún tamaño, y adaptaron el trazado a las características del relieve y del territorio en general. La búsqueda de rentabilidad de los trazados explica que a veces no fueran directos sino con desvíos que trataban de conectar con poblaciones dinámicas. En el diseño de las líneas, las compañías ferroviarias intentaban, fundamentalmente, obtener rentabilidad de las mismas, razón por la cual querían servir a muchos núcleos y daban a veces a los trazados una disposición en zig-zag. Pero sobre todo, las líneas férreas adoptaron con frecuencia una estructura radial, que solía partir de las capitales estatales, especialmente cuando éstas eran al mismo tiempo núcleos de actividad económica. Generalmente los trazados radiales desde la capital del país reforzaron una primacía que ya estaba previamente establecida, como en el caso de París o de Madrid. Dichos trazados convirtieron a las capitales en los puntos de máxima accesibilidad de todo el territorio nacional, reforzando su centralidad. Pero también se generaron líneas radiales a partir de ciudades capitales regionales, como sucedió, por ejemplo, en los casos de Barcelona o Lyon.

14.1. La creación de líneas de ferrocarril

En el siglo XIX y primera mitad del XX, los ferrocarriles tienen en buena parte el mismo papel en el desarrollo social que antes tuvieron los ríos. No hay duda de que el motor de la economía europea en esa época fue el ferrocarril. Su construcción movilizó recursos financieros y humanos. Los movimientos migratorios interiores e internacionales estuvieron vinculados en buena parte a los nuevos medios de transporte, como el barco a vapor y el ferrocarril. Así, en Estados Unidos en el periodo de 1865 a 1880 el poblamiento del Oeste se intensificó por la instalación de líneas férreas transcontinentales, lo que permitió el desplazamiento de muchos colonos a lo largo de esos itinerarios y la creación de varios Estados nuevos en Estados Unidos.

Una vez construidas las líneas, aparece también la posibilidad de utilizarlas para ampliar o complementar el uso de las mismas. Desde las estaciones intermedias o finales del ferrocarril se establecen, a su vez, nuevas conexiones radiales servidas por otros medios de transporte. Así, el servicio de correos utiliza estos nuevos nodos ferroviarios para organizar a partir de ellos sistemas de redistribución del correo.



En España, Italia o Suiza, los trazados de las líneas ferroviarias no fueron fáciles de realizar por ser países con un relieve montañoso y por ello la construcción de las líneas ferroviarias fue mucho más costoso que en países con grandes llanuras. Además, en España, al igual que en otros países, la construcción del ferrocarril no favoreció el desarrollo industrial y desvió inversiones que se habrían podido dirigir hacia el equipamiento fabril. De manera general, el ferrocarril acabó conectando los núcleos más poblados y dinámicos en relación al proceso de industrialización. Las regiones menos pobladas y de menor actividad económica no eran atractivas para la inversión de las compañías, por la escasa rentabilidad prevista.

La elección de un itinerario concreto favorecía a unas poblaciones y perjudicaba a otras y los conflictos entre diferentes localidades explican la multiplicación de proyectos y de debates, así como las presiones políticas y económicas de los grupos con intereses en conflicto, a lo que hay que añadir el coste de las expropiaciones de los terrenos en áreas con alta densidad y desarrollo económico. Pero también se construyeron líneas de problemática rentabilidad en áreas de escasa población y débil actividad económica, que se relaciona con la presión de grupos locales en base a que solo una parte del proyecto de esos trayectos descansaba en transportar viajeros y mercancías., pues al igual que sucedió luego con la construcción de carreteras y autopistas, la explotación de las líneas podía ser solo una excusa para obtener otros beneficios, ya que el negocio podía radicar sobre todo en la construcción del tramo ferroviario a través de la importación de maquinaria o la venta de cemento.

14.2. Ferrocarril y transporte por carretera

La decadencia del transporte por ferrocarril se debe a su competencia con la difusión del automóvil privado desde la década de 1930 para los trayectos a corta y media distancia, así como con la incipiente, pero pronto intensa, de la aviación para los trayectos largos a partir de la década de 1960. En muchos casos, las cifras máximas de longitud de las redes ferroviarias se alcanzan en algún momento entre las dos guerras mundiales, pero desde la década de 1940 la competencia del automóvil es ya tan fuerte que algunas líneas desaparecen. En Gran Bretaña los ferrocarriles alcanzaban 32.000 km en 1948 y 16.500 en 1992, en vísperas de la privatización de los ferrocarriles británicos.

Las primeras líneas de transporte por carretera nacieron en la época entre las dos guerras mundiales del siglo XX como complementarias del ferrocarril, no como competitivas. La carretera se convirtió primeramente en un nexo con las estaciones ferroviarias y las primeras líneas de autobuses



que aparecen sirven para conectar núcleos que no tenían ferrocarril. Así, en esa época, en España la empresa de automóviles Hispano Suiza ayudó a crear unas 40 empresas de autobuses.

El transporte de mercancías y pasajeros en camión y autobuses era más flexible y hacía una fuerte competencia al ferrocarril, a lo que contribuyó el hecho de que las carreteras eran construidas por el Estado y las instalaciones terminales eran menos costosas. El crecimiento de la demanda en los mercados locales y regionales aumentó el transporte a corta distancia, en donde el camión era muy competitivo e influyó también en la pérdida de cuota de mercado del ferrocarril. Por otro lado, en algunos países la relativa escasez de su población y la falta de desarrollo industrial facilitaron que el ferrocarril fuera poco a poco abandonado por el transporte por carretera.

En España la competencia del automóvil se retrasó por la guerra civil y la mundial, y se desarrollaría esencialmente en la década de 1960. El paso del transporte de viajeros del tren al autobús público en dicha década supone la modernización del transporte público por carretera en España y luego se intensifica con el comienzo de la difusión masiva del automóvil privado. Por otra parte la falta de vagones frigoríficos, la calidad de los mismos y las elevadas tarifas ferroviarias dificultaron la utilización del ferrocarril en algunos casos, como en el de la pesca, y la expansión de los mercados pesqueros.



En España el proceso de decadencia del ferrocarril culmina en la década de 1960 con el cierre de las líneas férreas que eran menos esenciales para el conjunto del país. Dicha clausura tener efectos importantes sobre localidades que eran servidas por dichas líneas. Así, el cierre de algunas, como la que unía Murcia y Granada por Guadix, si bien pudo estar justificado por razones de rendimiento económico y por el estado de las vías, no lo estaba desde la perspectiva del desarrollo económico y social regional.

Independientemente de la rentabilidad concreta de la

línea en aquellos años, lo que estaba en juego era la conexión directa entre el Levante peninsular y Andalucía. Los argumentos para defender la importancia de dicha conexión fueron expuestos por las instituciones y ciudades murcianas que ya desde el siglo XIX solicitaron la construcción prioritaria de ese enlace. Dejar sin comunicación directa las regiones de Valencia y Murcia con la Andalucía oriental es un error que no debería seguir manteniéndose. En la actual política de la Unión Europea se pone énfasis en reformas para reducir los graves problemas de raíz estructural que existen, con el fin de mejorar la competitividad. En ese contexto, la conexión Levante-Andalucía para viajeros y mercancías debería ser un objetivo prioritario frente al enfoque centripeto hacia Sevilla y Madrid.

A partir de la década de 1970 se han introducido numerosas mejoras técnicas en el ferrocarril, con el objetivo de hacerlo competitivo frente a los otros modos de transporte, lo que ha permitido obtener mayor calidad de servicios y costes cada vez más reducidos. Además de la implantación de la alta velocidad, los trenes de cercanías han representado una verdadera metamorfosis del tren, y conocen un gran impulso a partir de la década de 1980 como respuesta al crecimiento de las ciudades cercanas a las grandes capitales. En las décadas siguientes se ha procurado planificar el desarrollo de la red ferroviaria en función de los nuevos desarrollos urbanísticos.

Estadísticas españolas

A partir de 1950 las estadísticas españolas muestran claramente la sustitución del ferrocarril por el automóvil como medio principal de desplazamiento de viajeros. Por un lado, se observa que el número de pasajeros por ferrocarril creció lentamente: 8,22 millones en 1950, 9,97 en 1960, 12,35 en 1970, 14,82 en 1980 y 16,60 en 1987. Por el contrario, el aumento de los pasajeros por automóvil fue muy rápido: 5,40 millones en 1950, 17,37 millones en 1960, 85,25 en 1970, 161,23 en 1980 y 221,64 en 1987.

De manera similar sucede con la evolución del transporte mercancías. El del ferrocarril se incrementó de forma reducida: si en 1950 la cifra era de 7.405 miles de toneladas/km, descendió levemente durante esa década (hasta situarse en 1960 en 7.350), creció un poco en los sesenta, llegando a 9.505 en 1970, y se situó en 11.952 en 1987. Por el contrario, el crecimiento del transporte de mercancías por carretera fue rápido: de 5.443 miles de toneladas/km en 1950, pasó a 17.048 en 1960, a 51.700 en la década siguiente, a 89.500 en 1980 y a 136.591 en 1987. Dicho de otra manera, en 1950 la cuota de mercado del ferrocarril con relación al transporte de viajeros era 60 % mientras que el 39 % correspondía a la carretera; en 1975, por el contrario, el ferrocarril desempeñaba una función secundaria con solo el 10%.



14.3. La privatización de las líneas ferroviarias y sus consecuencias

En la evolución de la construcción de las líneas ferroviarias a lo largo de la historia se distinguen tres fases. La primera de construcción de líneas, generalmente por compañías privadas, mediante concesiones de la administración pública. Una segunda de conversión de las líneas y redes en empresas públicas, lo que se va argumentando desde comienzos del siglo XX y pasó a ser muy general después de la Segunda Guerra Mundial. Y una tercera, en la que estamos, corresponde a una nueva tendencia hacia la liberalización y privatización.



Red de ferrocarril de España a finales del siglo XX.

En todo caso, desde la década de 1990 se asiste en numerosos países a una nueva tendencia privatizadora. En Europa las políticas impulsadas por la Unión Europea han insistido en la necesidad de liberalizar el ferrocarril, hacerlo competitivo y orientarlo hacia las necesidades del mercado y se han adoptado directrices sobre liberalización de los transportes, con el fin de aumentar la competitividad, lo que ha dado lugar a profundas transformaciones en los sistemas ferroviarios de los países miembros.

El modelo de privatización emprendido tempranamente en Gran Bretaña contrasta con el modelo francés en donde el Estado ha tenido un papel esencial en la electrificación y el desarrollo de las redes ferroviarias, la puesta en marcha de la alta velocidad y la gestión de la red. En España a mediados de la década de 1980, tras la entrada en la Comunidad Europea el ferrocarril entra en una fase de modernización e intenta alcanzar una posición central en el sector de los transportes.



En España, desde 2005 se adapta las estructuras ferroviarias a las normas de la Unión Europea, con vistas a la liberalización del sector. Desaparece con ello RENFE y se han creado dos nuevas instituciones una para las infraestructuras (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, ADIF) y otra para el servicio (RENFE-Operadora).



Los argumentos que se dan para la privatización se refieren a la mayor eficacia en la gestión y se unen los que se refieren al endeudamiento de las empresas públicas y la fuerte carga que supone el pago de los intereses que repercute en una menor autonomía de actuación. También esgrimen el coste de las infraestructuras y del material rodante, que aconsejan contar con la inversión de capitales privados.

Naturalmente todo este debate no es indisoluble del que se refiere a las políticas fiscales, que aportan los recursos a la hacienda pública. Con las actuales tendencias a la rebaja de impuestos y con la carencia de políticas de tributación progresiva que graven más a los grandes capitales, las posibilidades de inversión pública en infraestructuras no salen bien paradas, aunque es importante que haya un



control público de las infraestructuras así como del funcionamiento de los servicios ferroviarios, pues la misma complejidad técnica del sistema del ferrocarril hace muy difícil introducir en él la competencia entre empresas.

La privatización de los ferrocarriles británicos ha suscitado serias controversias y en todo caso, es posible un control estatal y un servicio eficiente, pues el contenido social que tiene el ferrocarril hace necesario que haya un control y una regulación por parte de los poderes públicos.

Los problemas que plantea la liberalización de los servicios ferroviarios son múltiples:

- En primer lugar, debido a la probable existencia de economías de escala en la prestación de los servicios ferroviarios, que puede que no sea eficiente.
- En segundo lugar, no está resuelto el problema de asignar el uso de la vía cuando varios competidores desean usarla en el mismo espacio y tiempo.
- En tercer lugar, se perderían las ventajas de las que disfruta un viajero cuando el servicio es prestado por un operador de ámbito nacional.
- Por último, existen importantes barreras a la entrada de otros operadores extraños, para impedir la entrada masiva de nuevos competidores.

El examen de esos argumentos tiene gran interés porque muestra el debate actual sobre la privatización o no de los ferrocarriles. Aunque siempre pueden proponerse soluciones técnicas para la coordinación de las empresas privadas, y económicas para el servicio, no está siempre bien claro que ellas sean más eficientes que una red estatal y un solo operador.

14.4. A modo de conclusión sobre el futuro del ferrocarril

La diversidad de modelos sobre el desarrollo del ferrocarril que se aplican en los países europeos muestra la complejidad de la situación. Algunos de los problemas existentes parecen ser poco superables, como el del **canon** impuesto a los operadores para recuperar las inversiones realizadas en el pasado en las infraestructuras estatales, puede llevar a que algunos servicios no sean rentables y no se realicen, lo cual conduce a que el Estado deba subvencionar esos servicios en el caso de que sean necesarios por razones de equidad social y territorial.



Vagones de un tren expreso (tren de larga distancia que hacía pocas paradas en el trayecto) de mediados de la década de 1980.

No extraña por ello que la libre prestación de los servicios ferroviarios es una medida de difícil aplicación, especialmente cuando la propiedad de la infraestructura y la prestación de los servicios corresponden a instituciones distintas, porque esta separación institucional puede suponer problemas derivados de la interdependencia técnica entre la infraestructura y por la dificultad de coordinar las inversiones. Por todo ello, es difícil realizar una constatación empírica que muestre la superioridad de una empresa ferroviaria privada sobre una pública en la actividad ferroviaria.

El tema de las **tarifas** que deben aplicarse al transporte ferroviario es otra cuestión importante. Sobre todo porque el problema debe debatirse de forma conjunta en relación con todos los modos de transporte y no solo respecto al ferrocarril. Pero además, parece claro que el Estado ha de tener en cuenta las necesidades de los grupos sociales desfavorecidos, facilitando su movilidad, lo que puede exigir subvenciones por razones de equidad. Además, los costes ambientales generados por el automóvil deben también ser computados a ese servicio, junto con el coste de vidas humanas que provoca y que también puede ser objeto de un cálculo económico.



Está claro que por razones demográficas y de rentabilidad económica se potencia el transporte ferroviario metropolitano de las ciudades dormitorio a las grandes urbes, al igual que el transporte por alta velocidad en trayectos a media distancia para competir con el avión. Todo ello hace que el desequilibrio de las zonas urbanas densas frente a las rurales con baja demografía y poco industrializadas sea cada vez mayor, y el futuro es poco esperanzador.

15. Breve bibliografía básica comentada

- **Los tiempos del vapor en Renfe** de L.G. Marshall, de Aldaba Ediciones, Fundación de los Ferrocarriles Españoles (1987). En esta obra se narra la formación de Renfe en 1941 y se explica la problemática que hubo con las antiguas compañías ferroviarias que existieron antes de la guerra civil española.

También se reflexiona sobre la ardua reconstrucción del ferrocarril español y el meritorio trabajo que hizo la Renfe en aquellos años. En el libro se muestra muchísimas fotografías en blanco y negro realizadas en España en la década de 1960 y se presentan a modo de fichas, donde se pueden ver muchos datos técnicos y brillantes anotaciones de prácticamente todas las locomotoras de vapor que han circulado por el ferrocarril español de vía ancha.

- **El Libro del Tren** de Pilar Lozano Carbayo, de Editorial Oberon (2004), donde a través de textos, fotografías e ilustraciones, dicho texto aborda una gran diversidad de tema y nos lleva por todas las facetas del ferrocarril, desde los primeros pasos en el uso del vapor hasta los trenes del futuro, sin olvidar los ferrocarriles metropolitanos, las estaciones de ayer y de hoy, los trenes de mercancías, la alta velocidad, los funiculares, los trenes cremallera, eléctricos y diésel, el modelismo, los récords, los museos y el arte y la cultura ferroviaria, todo ello de una forma amena y visual.

Por otro lado, El Libro del Tren muestra la evolución del ferrocarril español desde sus inicios hasta la actualidad, reuniendo por primera vez en un solo volumen una panorámica completa de ese mundo fascinante de los trenes, situado entre la magia y la tecnología.

- **La enciclopedia de trenes y locomotoras: una guía exhaustiva con más de 900 máquinas de vapor, diésel y eléctricas desde 1825 hasta nuestros días** de varios autores de Editorial Edimat (2005). Reúne una amplia información con fotografías e ilustraciones sobre más de 900 clases diferentes de trenes y locomotoras, según sea su fuente de tracción: vapor, gas, o electricidad, e incluye la información sobre ingenieros, innovaciones en diseño, y datos técnicos como peso, velocidad máxima, fuerza de tracción y fabricante.

- **Historia del ferrocarril** de Franco Tanel, editado por Librería Universitaria (2012). En el libro se hace un repaso de las locomotoras y trenes desde 1830 hasta hoy y de la fascinante historia del ferrocarril con sus míticos trenes como el Orient Express y el Transiberiano, los ferrocarriles y la guerra y llegando hasta los trenes de alta velocidad, todo ello explicado a través de espléndidas fotografías y un texto cautivador.

- **Técnica ferroviaria** de Alejandro Álvarez Stein, de Editorial Tebar (2013). Este libro está escrito para el lector que necesite tener claros los conceptos técnicos básicos ferroviarios como la vía, su electrificación, el material móvil o las instalaciones de seguridad. Se centra en la construcción y el mantenimiento de las líneas férreas convencionales, incluyéndose las líneas de metro que, salvo en lo tocante a la infraestructura y a alguna particularidad, son de tecnología muy semejante.

