
ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Sucesor

De la:

«SOCIEDAD DE INGENIERIA»

Fundada el 31 de Mayo de 1888

Y del:

«INSTITUTO DE INGENIEROS»

Fundado el 28 de Octubre de 1888

Con Personalidad Jurídica desde el 28 de Diciembre de 1900

Adherido a la USAI y a la CONFERENCIA MUNDIAL DE LA ENERGIA

AÑO LXIV • NOVIEMBRE-DICIEMBRE DE 1951 • N.ºs 11 - 12

Comisión Editora: Raúl Sáez S. (Pde.), Arturo Quintana, Jorge del Río, Fernando Salas y Sansón Radical.

La tracción de los ferrocarriles y su electrificación

La Comisión Técnica de Ferrocarriles del Estado de Nueva York ha confeccionado un informe descriptivo de los ferrocarriles electrificados en diversos países del mundo y de los programas de futuras electrificaciones.

La comisión no ha tratado de abarcar en este estudio los problemas de la tracción ferroviaria en todos los países, sino que ha elegido aquellos en donde ha tenido mayor auge la electrificación o en donde se contemplan programas importantes de electrificación.

Al considerar el caso de Estados Unidos se ha hecho un estudio más completo agregándose informaciones sobre la tracción diésel-eléctrica y de otros sistemas de tracción actualmente en la etapa de diseño o ensayo.

Las informaciones que contiene el estudio de la comisión se han obtenido de libros, de revistas técnicas, de comunicaciones directas de algunos ferrocarriles a la comisión, etc. Por consiguiente, la comisión no puede asumir más responsabilidad sobre las informaciones incluídas en el estudio que la proveniente de los antecedentes que ha tenido presentes para prepararlo.

Este estudio abarca diecisiete países en particular y un capítulo para varios países. Fué preparado por la comisión indicada en mayo-junio de 1950 y ha sido proporcionado al Instituto de Ingenieros por el ingeniero don Hernán Plaza, a cuya gentileza se debe que comencemos ahora a publicarlo, principiando por los capítulos más interesantes. Se ha elegido el correspondiente a Estados Unidos porque comprende consideraciones y comparaciones de los diversos sistemas de tracción ferroviaria hoy día en uso o experimentación.

ELECTRIFICACIONES DE FERROCARRILES EN EE. UU.

Actualmente existen las siguientes electrificaciones de ferrocarriles en EE. UU.

FERROCARRIL	Kilómetros ⁽¹⁾		SISTEMA	AÑO
	Ruta	Vía		
1. <i>Boston and Maine:</i>				
a) Hoosac Tunnel	13	34	11.000 V.—C. A., 25 ciclos	1911
2. <i>Butte, Anaconda and Pacific</i>	60	235	2.400 V.—C. C.	1913
3. <i>Chicago, Milwaukee, St. Paul</i> ...				
a) Harlowton, Mont, to Avery, Ind.....	710	950	3.000 V.—C. C.	1915-1916
b) Othello-Tacoma-Seattle	350	493	3.000 V.—C. C.	1919-1927
c) Patios en Great Falls.	—	11	1.500 V.—C. C.	1915
4. <i>Chicago, North Shore, Milwaukee</i> .	200	—	—	—
5. <i>Chicago, South Shore, So. Bend</i> ..	124	—	—	—
6. <i>Cleveland Union Terminals</i>	27	97	3.000 V.—C. C.	1930
7. <i>Delaware, Lackawanna & Western</i> .				
a) Hoboken, Newark, Summit, Dover y Ramales	110	260	3.000 V.—C. C.	1930-1931
8. <i>Great Northern</i>	117	153	11.500 V.—C. A., 25 ciclos	1927-1929
9. <i>Illinois Central</i>	62	251	1.500 V.—C. C.	1926-1929
10. <i>Long Island</i>	246	857	550 V.—C. C.	—
			11.000 V.—C. A., 25 ciclos	1905-1926
11. <i>New York Central:</i>				
a) Sub Urbano.....	113	710	650 V.—C. C.	1906-1926
12. <i>New York, New Haven and Hartford:</i>				
a) New York-Woodlawn	19	119	650 V.—C. C.	1907
b) Woodlawn-New Haven y Ramales	228	1.108	11.000 V.—C. A., 25 ciclos	1912-1929
13. <i>Norfolk and Western</i>	124	337	11.000 V.—C. A., 25 ciclos	1915
14. <i>Pennsylvania:</i>				
a) Camden-Melville	86	354	6.500 V.—C. C.	1906-1910
b) New York-Philadelphia-Washington-Harrisburg	1.110	3.410	11.000 V.—C. A., 25 ciclos	1915-1939
15. <i>Reading:</i>				
a) Philadelphia to W. Trenton.	135	320	11.000 V.—C. A., 25 ciclos	1931
16. <i>Southern Pacific:</i>				
a) Oakland-Berkley, Cal....	61	187	1.200 V.—C. C.	1911
17. <i>Virginian:</i>				
a) Mullens-Hoanoke	216	367	11.000 V.—C. A., 25 ciclos	1925-1926
18. Otras electrificaciones varias...	246	416	—	—
Total	4.357	10.669		

(1) La longitud de ruta es la distancia entre estaciones, y la longitud de vía es el largo total de las líneas férreas incluyendo desvíos.

Los siguientes ferrocarriles han electrificado parte de sus líneas para atender eficientemente al fuerte tráfico suburbano y evitar el humo de locomotoras a vapor en grandes centros poblados:

4. Chicago, North Shore Milwaukee.
7. Delaware Lackawanna and Western.
9. Illinois Central.
10. Long Island.
11. New York Central.
12. New York, New Haven and Hartford.
15. Reading.
16. Southern Pacific.

Los siguientes ferrocarriles han electrificado sus vías de entrada a la ciudad de New York, para poder tener estaciones ferroviarias en el centro de la ciudad, con líneas subterráneas:

10. Long Island.
11. New York Central.
12. New York, New Haven and Hartford.
14. Pennsylvania.

Los siguientes ferrocarriles han electrificado sus líneas principales debido a un fuerte tráfico de trenes pesados y a razones económicas, que son ventajosas a este tipo de tracción:

12. New York, New Haven and Hartford.
13. Norfolk and Western.
14. Pennsylvania.
17. Virginian.

Los siguientes ferrocarriles han electrificado parte de sus líneas debido a gradientes fuertes o a túneles que no permitían servicio con locomotoras a vapor:

1. Boston and Maine.
2. Butte, Anaconda. Pacific.
3. Chicago, Milwaukee, St. Paul.
6. Cleveland Union Terminals.
8. Great Northern.

A continuación se indica el número de locomotoras, en algunos de los ferrocarriles electrificados, en el último trimestre de 1949:

NUMERO DE LOCOMOTORAS

FERROCARRIL	Vapor		Diesel	Eléctric.	Eléctric.	Automot.
	Carbón	Petróleo	Tren	Patio		Eléctric.
Butte, Anaconda, Pacific.	5	—	—	—	28	—
Chicago, Milwaukee, St. Paul.	849	78	61	119	49	—
Chicago, North Shore, Mil- waukee.....	—	—	—	—	9	168
Chicago, South Shore, South Bend	—	—	—	—	16	50
Delaware Lackawanna R. R...	210	—	31	54	—	141
Great Northern	248	420	106	76	15	—
Illinois Central	1.185	—	22	55	—	140
Long Island	53	—	10	31	31	738
New York Central	2.770	—	108	333	139	351
New York, New Haven, Hart- ford	73	—	161	137	110	270
Norfolk and Western	506	—	—	—	16	—
Pennsylvania	2.907	—	147	449	268	451
Reading	319	—	22	117	—	120
Virginian	108	—	—	—	16	—

OBSERVACIÓN: El número de locomotoras es variable, pues, constantemente se están retirando o agregando unidades de diferentes tipos.

En locomotoras Diesel eléctricas se indica el número de locomotoras, generalmente compuesto de dos o más unidades.

Desde la Electrificación del Pennsylvania Railroad no se han efectuado otras electrificaciones en Estados Unidos. Entre los proyectos más interesantes de electrificación estudiados por los ferrocarriles, pero que aún no se desarrollan, están los dos siguientes:

1. **New York Central.** Electrificación a 3.000 volts. c.c. de sus líneas principales desde Harmon (cerca de New York City) hasta Buffalo, vía Albany, Syracuse y Rochester.

2. **Pennsylvania.** Electrificación desde Harrisburg, Pa. hasta Pittsburgh, Pa.

Ambos estudios están terminados. Por razones de orden económico, obtención de créditos a largo plazo, etc., estas obras están postergadas indefinidamente.

Desde el año 1935, los ferrocarriles en Estados Unidos han demostrado gran interés en la locomotora Diesel Eléctrica. Esta locomotora, que es substancialmente una locomotora eléctrica con planta propia generadora de energía, presenta en Estados Unidos ventajas sobre la locomotora a vapor, las que se deben principalmente a su tracción eléctrica. El motor Diesel, aunque considerablemente mejorado por la técnica moderna, siempre será el elemento en discordia en este tipo de locomotoras.

Las primeras aplicaciones de la locomotora Diesel Eléctrica fué en servicios de maniobras. La locomotora Diesel se presta muy bien para este ser-

vicio, produciendo considerables economías sobre una explotación de maniobras con locomotoras a vapor. Esta preferencia de la locomotora Diesel Eléctrica en Estados Unidos es muy notoria; actualmente más o menos el 50% de la dotación total de las locomotoras Diesel Eléctricas en U.S.A. se utilizan exclusivamente en maniobras.

El cuadro siguiente indica el porcentaje del total de locomotoras-horas en maniobras anuales atendidas por los diferentes tipos de locomotoras:

TIPO DE LOCOMOTORA	Año		
	1941	1948	1949
	Porcentaje Locomotoras-horas en maniobras (%)		
Vapor-Carbón	75,77	55,22	42,63
Vapor-Petróleo	10,77	8,30	6,77
Diesel Eléctrica	12,01	35,84	49,94
Eléctrica	1,37	0,59	0,60
Otros tipos ..	0,08	0,05	0,06

De este cuadro se desprende que desde el año 1941 al 1949 el uso de locomotoras Diesel Eléctricas en maniobras ha aumentado en un 38%, mientras que todos los otros tipos de locomotoras han bajado en servicios de patios. Esta tendencia a utilizar locomotoras Diesel Eléctricas en maniobras continúa actualmente con la misma aceleración.

La aplicación de locomotoras Diesel Eléctricas al servicio de trenes de carga y pasajeros se ha extendido, también, en los últimos años.

El uso de locomotoras Diesel Eléctricas en trenes de pasajeros se inició con intensidad poco después del término de la guerra.

El cuadro siguiente indica el porcentaje del total de Coches-kilómetros anuales movilizados por diferentes tipos de locomotoras:

TIPO DE LOCOMOTORA	Año			
	1941	1947	1948	1949
	Porcentaje de Coches-Km. Anuales			
	<i>Servicio de Pasajeros</i>			
Vapor-Carbón.....	63,72	44,3	35,98	28,75
Vapor-Petróleo	22,01	22,0	17,94	15,49
Diesel Eléctrica	7,75	27,2	39,55	49,29
Eléctrica	6,52	6,5	6,50	6,44
Otros tipos ..	—	—	0,03	0,03

Del cuadro anterior se deduce que el aumento en la utilización de las locomotoras Diesel Eléctricas en servicio de pasajeros, del orden de un 41½% desde el año 1941, es equivalente a la disminución que en este servicio han sufrido las locomotoras a vapor. La utilización de la locomotora eléctrica en servicios de pasajeros se mantiene constante desde el año 1941.

La aplicación de locomotoras Diesel Eléctricas en servicio de carga se inició, con intensidad, posteriormente al uso de esta locomotora en servicio de pasajeros. Sin embargo, en los últimos dos años, el servicio de las Diesels en trenes de carga ha aumentado más rápidamente que en trenes de pasajeros.

El cuadro siguiente indica el porcentaje del total de toneladas kilómetros brutas anuales movilizadas por los diferentes tipos de locomotoras:

TIPO DE LOCOMOTORA	Año			
	1941	1947	1948	1949
	Porcentaje Ton-Km. Brutas Anuales			
	<i>Servicio de Carga</i>			
Vapor-Carbón.....	79,66	66,9	59,46	49,00
Vapor-Petróleo	17,78	18,7	17,24	14,05
Diesel Eléctrica	0,22	12,3	21,27	34,89
Eléctrica	2,34	2,1	2,02	2,05
Otros tipos	—	—	0,01	0,01

La utilización de la locomotora Diesel Eléctrica en servicio de carga aumentó en un 13.6% en el período 1948-1949. En igual período, la locomotora Diesel Eléctrica en servicio de pasajeros, aumentó solamente un 9.7%.

Con referencia a los dos tipos de locomotoras a vapor (carbón y petróleo) se debe hacer presente que, aunque su utilización en porcentaje de trabajo hecho en la movilización de carga ha disminuído desde el año 1941 al 1948, sin embargo, el total de toneladas kilómetros movilizadas por estos dos tipos de locomotoras se ha mantenido constante. Además, si se compara el carbón consumido en las locomotoras a vapor durante el año 1941 con el consumo del año 1948 se ve que hay una disminución de solamente un 10%, cuando el tráfico de pasajeros y carga aumentó cada uno en un 20.5% y en un 15.4% el total de locomotoras-horas en maniobras. Ambas indicaciones demuestran que las locomotoras a vapor en Estados Unidos están aún efectuando un trabajo tan importante como el que hicieron el año 1941.

Al 31 de diciembre de 1949 había en Estados Unidos el siguiente número de locomotoras Diesel Eléctricas:

Número de Unidades	H. P. de cada Unidad	Total de H. P.
36	3.000	108.000
19	2.250	42.750
1.230	2.000	2.460.000
36	1.800	64.800
3.855	1.500	5.782.500
1.170	1.350	1.579.500
21	1.200	25.200
4.606	1.000 y menos	3.947.100
10.973		14.009.850

Cabe hacer notar aquí que, en los primeros 5 meses del año 1950, los ferrocarriles en Estados Unidos han puesto en servicios 922 locomotoras nuevas, de las cuales 918 son locomotoras Diesel Eléctricas. El 1º de junio, 1950, los fabricantes tenían órdenes pendientes por 1.009 locomotoras.

El total de locomotoras Diesel Eléctricas al 31 de diciembre de cada año en los principales ferrocarriles de Estados Unidos se indica a continuación:

Locomotoras Diesel Eléct.

Diciembre 31, 1947	5.772 unidades
Diciembre 31, 1948	8.086
Diciembre 31, 1949	10.973

A continuación se indican los 10 ferrocarriles con la mayor potencia en locomotoras Diesel Eléctricas, al 31 de diciembre de 1949:

FERROCARRIL	Locomotora Diesel	Total H. P.
	N.º de Unidades	
Atchison, Topeka, Santa Fe	864	1.149.550
Pennsylvania	828	1.049.650
New York Central	633	714.460
Union Pacific.....	513	712.680
Southern System	509	686.620
Southern Pacific	483	654.280
Chicago, Burlington, Quincy	396	537.370
Baltimore and Ohio	341	431.960
Great Northern	312	412.240
Chicago Northwestern	320	393.550

Con el objeto de presentar el cuadro completo de los elementos de tracción en los ferrocarriles de Estados Unidos, indicamos la clasificación de locomotoras y los años de servicio de ellas, al 31 de diciembre de 1947.

Clasificación de Locomotoras a' 31 de diciembre de 1947

T I P O	Vapor	Eléctrica	Diesel
Carga	21.915	424	1.876
Pasajeros.....	5.575	243	1.036
Carga y Pasajeros.....	1.721	—	
Maniobras	5.897	149	2.860
Total	35.108	821	5.772

Años de servicios de Locomotoras al 31 de diciembre de 1947

SERVICIOS	Vapor	Eléctrica	Diesel
Con más de 40 años	6.792	50	—
Entre 20 y 40 años	25.088	432	16
Entre 10 y 20 años	1.638	271	493
Menos de 10 años	1,590	68	5.263
Total	35.108	821	5.772

De los cuadros anteriores se desprende que el número de locomotoras a vapor es aún muy superior al de los otros dos tipos, que sobre el 90% de las locomotoras a vapor tienen más de 20 años de servicios, que el 92% de las locomotoras Diesel Eléctricas tienen menos de 10 años de servicios y que el 50% de las locomotoras eléctricas tienen más de 20 años de servicios. Al analizar los diferentes sistemas de tracción en uso actualmente en Estados Unidos, conviene tener presente que las locomotoras Diesel en servicio son relativamente nuevas en comparación con las locomotoras a vapor y eléctricas. Las locomotoras nuevas tienen, naturalmente un costo de conservación considerablemente más bajo que el de locomotoras con 20 a 40 años de servicio.

La locomotora Diesel Eléctrica, por tener características más favorables que la locomotora a vapor, ha hecho mejorar considerablemente la eficiencia del transporte de la carga. La unidad de medida de esta eficiencia es las toneladas millas brutas por tren hora (en esta unidad se incluyen la tara, la carga y la caseta; se excluyen la locomotora y tender). A continuación se indica esta unidad para los 10 ferrocarriles con mayor número de locomotoras Diesel Eléctrica:

FERROCARRIL	Porcentaje de Tons-Millas de carga movilizadas por Diesel Elect. (%)	Tons-Millas brutas por tren hora	
	1949	Marzo 1950	Marzo 1949
Atchison, Topeka, Santa Fe .	33,0	57.210	51.510
Pennsylvania	8,4	42.780	41.313
New York Central	9,4	41.581	40.378
Union Pacific.....	21,3	65.107	57.810
Southern System	38,3	—	—
Southern Pacific	13,2	49.843	45.712
Chicago, Burlington, Quincy.	47,8	52.315	49.959
Baltimore Ohio.....	10,7	34.273	35.765
Great Northern	30,2	39.695	39.944
Chicago Northwestern	24,6	38.140	33.523

Si se compara la movilización de trenes carga del año 1940, cuando había muy pocas locomotoras Diesel Eléctricas, con la movilización el año 1948 y se escogen los ferrocarriles que han intensificado más la utilización de locomotoras Diesel, se verá que la unidad "toneladas-millas brutas por tren hora" (T-M-B), o sea la eficiencia del transporte de carga, ha mejorado en algunos casos sobre un 60%. Se indica a continuación los porcentajes de aumentos de la unidad y el grado de utilización de locomotoras Diesel:

FERROCARRIL	Porcentaje de Tons-Millas de carga movilizadas con loc. Diesel el año 1948 (%)	Porcentaje de aumento de T-M-B por tren hora de 1940 a 1948 (%)
Gulf, Mobile, Ohio	64,4	94,9
Boston and Maine	23,4	85,3
New York, New Haven, Hartford	11,6	65,2
Sesboard Air Lines	34,0	57,7
Denver Rio Grande	23,5	51,0
Chicago, Burlington, Quincy	45,7	47,8
Erie Railroad.....	17,4	39,1
Southern System	26,0	38,3
Atchison, Topeka, Santa Fe	29,3	33,0
Atlantic Coast Line	16,4	31,6

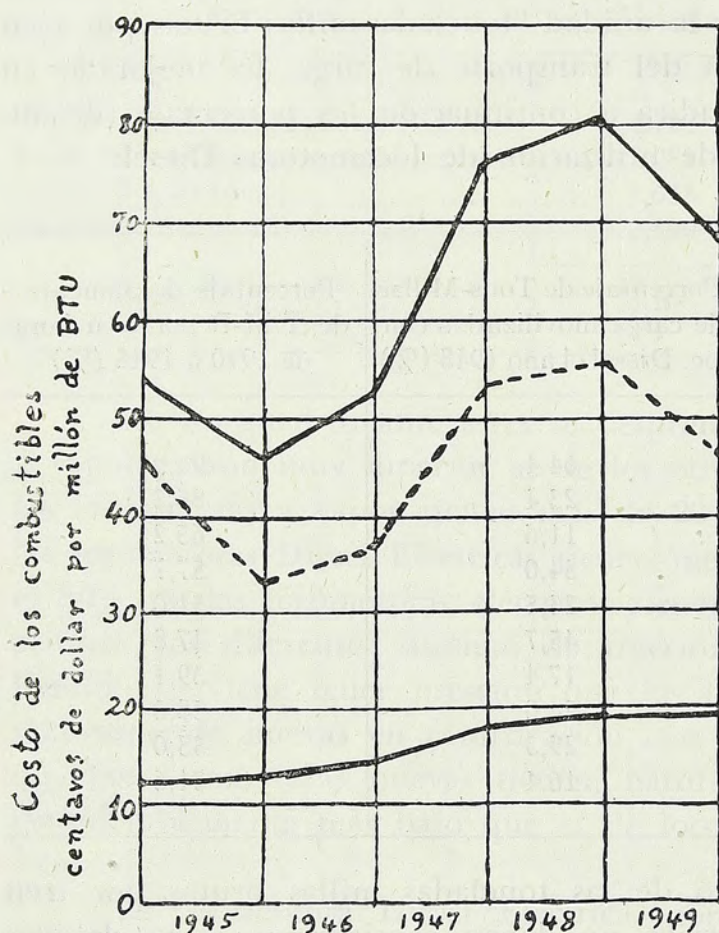
Los porcentajes de aumento de las toneladas millas brutas por tren hora indicados en el cuadro anterior no deben considerarse como debidos únicamente a la utilización de locomotoras Diesel. Hay otros factores que tienden a mejorar este índice, entre ellos el uso de locomotoras a vapor modernas, mejores métodos de conservación, mejor utilización y mayor recorrido de las locomotoras, etc. Cabe hacer notar que en el ferrocarril Illinois Central, que moviliza todos sus trenes de carga con locomotoras a vapor, el porcentaje de aumento de toneladas-millas brutas por tren hora, de 1940 a 1948, fué de un 39.3%; este ferrocarril no tiene locomotoras Diesel Eléctricas.

De los datos estadísticos indicados anteriormente es posible deducir que la locomotora Diesel Eléctrica en Estados Unidos está movilizandohoy día una parte importante del tráfico de carga y de pasajeros. Además, por tener mejores características de tracción que la locomotora a vapor, la locomotora Diesel Eléctrica ha hecho posible que la eficiencia de la movilización de la carga haya mejorado substancialmente desde que esta locomotora empezó a ser utilizada por los ferrocarriles.

La locomotora Diesel Eléctrica ha hecho bajar los gastos de explotación en los ferrocarriles, especialmente en combustibles, que es la partida de mayor costo. La economía en los gastos de explotación depende principalmente del costo del combustible y, en parte, de la eficiencia térmica de la locomotora.

Se adjunta un gráfico mostrando las variaciones que ha tenido el precio de los combustibles en los últimos años, reducido al costo por un millón de unidades térmicas inglesas (B.T.U.). Se ve que el precio del petróleo

Diesel ha aumentado más que otros combustibles. Estos precios se refieren a 3 ferrocarriles del Este de Estados Unidos.



Petróleo Diesel

de 138.000 BTU por galón

9,6 centavos de dólar por galón

= 69 centavos por millón de BTU

Petróleo Pesado

de 152.000 BTU por galón

2,87 dólares por barril

= 45 centavos por millón de BTU

Carbón Bituminoso

de 13.000 BTU por libra

4,75 dólares por tonelada

= 18,4 centavos por millón de BTU

Precios medios comunicados a la
Comisión Técnica de Ferrocarriles del Estado de Nueva York
por tres ferrocarriles del Este de Estados Unidos

En el Noroeste de Estados Unidos, que está más distante que el Este de los centros productores de carbón o petróleo, los precios medios de combustible, puesto en locomotoras, en el último trimestre de 1948, fueron los siguientes:

Carbón US\$ 6.00 por tonelada de 2.000 lbs.

Petróleo Diesel, US\$ 0.10 por galón.

Energía Eléctrica, US\$ 0.004 por K.W.H.

Observación: Se indican a continuación los precios de estos combustibles, reducidos a unidades métricas y a pesos chilenos, al cambio de 60 pesos por dólar:

Carbón, \$ 396 por tonelada métrica.

Petróleo Diesel, \$ 1.59 por litro.

\$ 1.875 por tonelada métrica.

Energía Eléctrica, \$ 0.24 por K.W.H.

Con los precios anotados para carbón y petróleo diesel, más la mayor eficiencia térmica de la locomotora Diesel, se ve que la explotación con estas locomotoras puede producir economías. Varios estudios efectuados en di-

ferentes zonas de Estados Unidos han confirmado esta ventaja de la locomotora Diesel. Un estudio, que compara el servicio de un tren pesado y rápido de pasajeros, de Harmon (New York City) a Chicago con locomotoras a vapor y Diesel de potencias equivalentes, llega a los siguientes resultados:

	Locom. Vapor 4-8-4	Diesel 2 unidades de 2,000 HP c/u
Costo total anual por milla de recorrido	\$ 1.22	\$ 1.11

En este costo por milla se incluyen los gastos de combustible, lubricación, agua, de Casa de Máquinas, de Personal de Tracción, de intereses y depreciación del capital, etc.

La mayoría de las adquisiciones de locomotoras Diesel Eléctricas hechas por los ferrocarriles en Estados Unidos, han sido financiadas con la venta, en el mercado, de pagarés llamadas "Equipment Trust Certificates". Estos pagarés se emiten bajo las reglamentaciones de Interstate Commerce Commision, del Gobierno. Estos pagarés tienen vencimiento cada seis meses en un período total de 10 años. El equipo que se adquiere con estos "Equipment Truts Certificates" queda en prenda a favor de los dueños de los pagarés; por esta razón, este método de financiamiento sólo puede aplicarse a la adquisición de equipo rodante, como locomotoras, carros o coches de pasajeros.

Ultimamente se ha utilizado otro método de financiamiento que consiste en dar locomotoras o carros en arriendo a los ferrocarriles por un período de 15 años. Este plan lo ha iniciado la Equitable Life Insurance Company. Pasado el período de 15 años el equipo puede continuar en arriendo, a un canon más bajo, o ser vendido al ferrocarril a un precio muy rebajado. Este plan puede producir un aumento en las adquisiciones de locomotoras Diesel y equipo, ya que ha sido recibido con aceptación por los ferrocarriles y por los fabricantes.

Estas dos formas de financiamiento no permiten la adquisición de material para instalaciones fijas y esto ha sido una de las razones principales de la paralización en la electrificación de ferrocarriles.

La situación económica de los ferrocarriles en Estados Unidos no ha sido, en los últimos años, tan sólida que les permita efectuar, con sus propios medios, obras grandes de mejoramiento. Por esto, deben recurrir al crédito bancario con plazos de vencimiento relativamente cortos, y que exigen inversiones en material rodante. La situación actual económica de los ferrocarriles se debe, en parte, a la menor proporción del tráfico total que ahora se moviliza por ellos. En 1926, los ferrocarriles transportaban el 76.8% del tráfico total de la carga en Estados Unidos; en 1949 esta cifra había bajado al 61.5%. En 1926, los ferrocarriles obtenían una utilidad neta correspondiente a 4.76% del capital invertido; en 1949, esta utilidad baja al 3.33%. El capital de trabajo neto, bajó de \$ 1.659 millones de dólares en 1945 a 645 millones de dólares en diciembre de 1949. Estas cifras indican que los ferrocarriles no están en condiciones de utilizar capitales propios para obras importantes y que para esto deben recurrir a créditos de corto plazo.

Por estas dificultades de orden financiero los programas de electrificación han debido postergarse. Es opinión general entre los ferrocarriles que la locomotora eléctrica tiene todas las ventajas de la Diesel y mejoradas; se estima además que la solución final del problema de tracción es la tracción eléctrica y que la locomotora Diesel representa una componenda entre tracción a vapor y tracción eléctrica.

Las dos razones principales que han postergado los programas de electrificación en Estados Unidos son las siguientes:

1º La electrificación de ferrocarriles requiere efectuar una importante inversión de capital en líneas de contacto y subestaciones. Los ferrocarriles no pueden obtener créditos para estas inversiones, que son instalaciones fijas. Se necesitarían créditos a 20 años, por lo menos, que los bancos comerciales hoy día no conceden.

2º Las instalaciones fijas, como líneas de contacto y subestaciones, son sometidas por algunos Estados a fuertes impuestos, en proporción al capital invertido. Se indica a continuación el valor de estos impuestos, en porcentaje de capital en algunos Estados del Este:

ESTADO	Impuesto % Capital
Maryland	2,16
District of Columbia	2,15
New Jersey	8,47
New York	3,00

Además de estas dos razones de orden financiero, existe la competencia de la locomotora Diesel Eléctrica. Este tipo de tracción no necesita de las instalaciones fijas de una electrificación. Las locomotoras Diesel, como también las eléctricas, pueden adquirirse con "Equipment Trust Certificates", como se explicaba más arriba. Además hay que considerar que los fabricantes de locomotoras eléctricas son a la vez fabricantes de locomotoras Diesel; para ellos, es indiferente qué tipo de locomotora se construya para los ferrocarriles. Esta última razón limita la competencia que, si no fuera por ella, serviría para estimular las electrificaciones.

En contra de la locomotora Diesel se tiene el importante problema del precio del petróleo, que tiende a ser mucho más variable que el precio de la energía eléctrica. También existe el problema de la disponibilidad futura del petróleo en un mercado cuyo consumo aumenta a cifras enormes. Hoy día, el petróleo es suficientemente abundante para atender los consumos de una economía en un período de paz.

Lo que sucederá a la disponibilidad de petróleo para locomotoras Diesel Eléctricas en caso de guerra es seriamente considerado por los ferrocarriles. Las fuerzas armadas pueden necesitar cantidades enormes; además, por las emergencias de una guerra, las importaciones de petróleo a Estados Unidos pueden reducirse agravando más el problema.

A favor de la electrificación de los ferrocarriles se tienen los resultados insuperables de la explotación eléctrica en períodos de paz o de guerra.

Si se mantienen exigencias del público tendientes a pedir transporte ferroviario aún más eficiente, los ferrocarriles en Estados Unidos deberán electrificar sus líneas, ya que solamente con este tipo de tracción pueden llegar a la eficiencia que se exige. Otro factor favorable a la electrificación en Estados Unidos es el constante aumento de la disponibilidad de energía eléctrica barata, producida en centrales hidroeléctricas o en plantas térmicas a carbón, de gran eficiencia.

La locomotora eléctrica, a igual potencia, cuesta entre 60 a 70% del precio de una locomotora Diesel Eléctrica. La sola diferencia de precio en las locomotoras puede pagar el costo de la línea de contacto de una electrificación, que representa aproximadamente el 25% del costo total de la obra.

Se estudia actualmente en Estados Unidos, en forma intensa, la forma de bajar el primer costo de una electrificación. Los estudios afectan a la línea de contacto, subestaciones, al suministro de energía, a locomotoras, señalización, etc. La idea de efectuar estos estudios se inició hace más o menos un año, por iniciativa del "Bituminous Coal Research", asociación de productores de carbón, interesados en investigar mejores aplicaciones de su producto. Se juntaron 17 diferentes compañías interesadas en estos estudios, incluyendo entre ellas a varios ferrocarriles, compañías de carbón, compañías productoras de energía eléctrica y fabricantes de equipo eléctrico. A fines del año 1949, la directiva de estos estudios fué tomada por el Edison Electric Institute quien comisionó al Battelle Memorial Institute en Columbus, Ohio, para que los efectuara. Battelle inició sus trabajos en marzo, 1950; tenía plazo hasta el 1º de marzo, 1951, para presentar su informe. Durante este período, Battelle tratará de desarrollar ideas o recomendaciones que hagan que las electrificaciones de ferrocarriles sean económicamente convenientes y puedan así competir con otros sistemas de tracción.

Desde el año 1945, se han ensayado o se están diseñando en Estados Unidos, varios otros tipos de locomotoras. Estos ensayos y diseños continúan hasta hoy día. A continuación se hace una breve descripción de los diferentes tipos de locomotoras, en ensayos o en proceso de diseño:

1. **Locomotoras con turbina a vapor.**—En octubre de 1944 el Pennsylvania Railroad puso en servicio la primera locomotora a turbina que funcionó en Estados Unidos. Esta locomotora, del tipo 3-D-3, tiene un caldero convencional, que trabaja a una presión de 310 libras por pulgada cuadrada. El vapor del caldero alimenta a una turbina de 6.900 HP. La potencia de la turbina se transmite por engranajes a los ejes motrices centrales. Los resultados de los ensayos de esta locomotora han demostrado que, para la potencia de la turbina, la locomotora debe diseñarse en 8 o más ejes motrices. En este caso el problema se resuelve más fácilmente utilizando tracción eléctrica para todos los ejes motrices. Por lo tanto, es improbable que se construya otra locomotora con turbina a vapor en forma parecida a la del Pennsylvania Railroad.

El Chesapeske and Ohio Railway tiene actualmente en ensayo tres locomotoras de 6.000 HP., con turbina a vapor y transmisión eléctrica a 8

ejes motrices. Estas locomotoras tienen calderos convencionales, turbina a vapor con generadores eléctricos acoplados por intermedio de engranaje. Los ensayos de estas locomotoras han demostrado que el consumo de combustible es alto, debido a la baja eficiencia del caldero, ya que debe mantenerse una presión alta en el escape de la turbina para mantener el tiraje.

El Norfolk and Western Railway ha ordenado la construcción de dos locomotoras de 4.500 HP, a turbina de vapor, con transmisión eléctrica y con caldero multi-tubular a 600 libras por pulgada cuadrada de presión y con vapor a 900 grados Fahrenheit; además, el caldero tendrá tiraje forzado permitiendo que la turbina tenga escape a la atmósfera. El caldero es construido por Babcock y Wilcox Company. Se espera que el consumo de carbón pueda reducirse a la mitad del consumo en una locomotora a vapor de diseño corriente. Los calderos de estas dos locomotoras están hoy día en proceso de pruebas.

Estos tres ferrocarriles, por razones comerciales, están interesados en perpetuar el uso del carbón como combustible en sus locomotoras.

2. Locomotoras con turbina a gas de petróleo.—Hay actualmente varias locomotoras en ensayos o en construcción que utilizan la turbina a gas de petróleo como fuente de energía. La General Electric Company tiene una locomotora de este tipo en ensayo desde hace ya un año. Westinghouse inició en mayo de 1950 los ensayos de la locomotora de este tipo. La General Motors está diseñando una turbina a gas, que puede ser montada en lugar del motor Diesel en las locomotoras que construye.

Las locomotoras de General Electric y Westinghouse son del tipo B-B-B-B, de 4.500 HP, para una velocidad máxima de 65 millas por hora. La turbina de la locomotora General Electric es formada por una unidad; la de Westinghouse consta de dos unidades. Ambas turbinas están diseñadas para quemar petróleo pesado, del tipo que se usa en calderos, llamado Bunker "C" Oil.

El ferrocarril Atchison, Topeka y Santa Fe ha ordenado a Baldwin la construcción de una locomotora con turbina a gas de petróleo, que posiblemente se termine a fines del año 1952. La locomotora es del tipo 2-D+D-2, de 3.750 HP y es diseñada para una velocidad de 160 kilómetros por hora. La turbina a gas fué construída por Elliott Company; desde octubre de 1949 la turbina ha estado sometida a extensos ensayos, quemando petróleo Diesel. Actualmente se ensaya el trabajo de la turbina con petróleo "Bunker C".

Lima-Hamilton está desarrollando la aplicación de un gasificador de petróleo, con una turbina a gas, en una locomotora. Este sistema consiste en gasificar el petróleo, en un generador, que trabaja como un cilindro de motor Diesel de dos tiempos, enviando los gases a alta temperatura y presión a una turbina. El Pennsylvania Railroad ha ordenado la construcción de una locomotora de este tipo, de 3.200 HP, montada en dos boguies de 3 ejes cada uno. Se espera que con esta locomotora se puedan obtener eficiencias térmicas bastante más altas que en locomotoras Diesel.

Una de las mayores ventajas de este tipo de locomotora es el poco peso y reducido tamaño de la turbina. Las locomotoras pueden diseñarse con $\frac{2}{3}$ del peso y con la mitad del largo de una locomotora Diesel Eléctrica de igual potencia. Esto puede reflejarse en un costo más bajo de la locomotora completa.

Deben aún esperarse los resultados de los extensos ensayos a que se están sometiendo estas locomotoras en Estados Unidos.

3. Locomotoras con turbina a gas de carbón.—La aplicación de turbinas a gas de carbón en locomotoras se está investigando con gran intensidad en Estados Unidos. El objeto de esta investigación es poder quemar carbón, el combustible más barato y más abundante, en forma eficiente y poder así obtener una locomotora capaz de competir en características y economías con la locomotora Diesel Eléctrica de igual potencia.

La American Locomotive Company tiene en funcionamiento desde noviembre de 1949 una turbina a carbón, del sistema Houdry, que quema carbón pulverizado a razón de 680 kilos por hora, con resultados bastantes satisfactorios.

La Allis-Chalmers Company está ahora terminando una turbina a gas de carbón para locomotoras. Se espera que los ensayos de esta turbina se terminen en diciembre de 1950. Terminados los ensayos, se procederá a la construcción de la locomotora que posiblemente será del tipo de 2 cabinas, cada una con dos boguies de 3 ejes, la locomotora será capaz de desarrollar 4.200 HP. Si los planes no sufren entorpecimiento, es muy posible que esta locomotora principie sus ensayos prácticos a mediados del año 1951.

Estas investigaciones, aunque perfectamente justificadas, tardarán bastante tiempo antes de dar una resolución definitiva del problema.

4. Locomotora Eléctrica con Ignitrones.—La fábrica Westinghouse tiene ya la orden de construir dos locomotoras eléctricas con Ignitrones, cuyo diseño y ensayos serán observados por los ferrocarriles con gran interés. Se espera que este nuevo diseño de locomotora pueda bajar el costo inicial de una electrificación en tal forma que permita poner nuevamente en actividad los proyectos pendientes. La novedad en el diseño de esta locomotora es que la transformación de corriente alterna de alta tensión a corriente continua de baja tensión se efectúa en la locomotora misma por medio de varios Ignitrones. El Ignitrón es una válvula electrónica de mercurio, que ha reemplazado al antiguo rectificador de mercurio, por tener sobre éste ventajas de funcionamiento y de conservación. Las ventajas de la locomotora con Ignitrón se resumen a continuación:

1. Que permite utilizar en la línea de contacto corriente alterna de alto voltaje, monofásica, a frecuencias industriales (60 ciclos en Estados Unidos). Con ésto, se baja considerablemente el costo de la línea de contacto y también el costo de los elementos necesarios para suministrar la energía eléctrica.

2. Que permite utilizar en el diseño de locomotora elementos que son de fabricación corriente, como ser los Ignitrons, el sistema de control y

los motores de tracción (de las locomotoras Diesel Eléctricas). Esto permite bajar el costo inicial de las locomotoras.

3. Que permite obtener una locomotora con mejores características de tracción y con gastos de conservación más bajos que una locomotora de corriente alterna.

El ferrocarril Pennsylvania ha ordenado la fabricación de dos locomotoras con Ignitron. Cada locomotora consiste de dos unidades, de 6 ejes motrices cada una. La potencia total será de 6.000 caballos; será diseñada para una velocidad máxima de 100 kilómetros por hora.

Una de las locomotoras será construída con tres boguies, de dos ejes motrices cada uno, en cada unidad. La otra será diseñada con dos boguies, de tres ejes motrices cada uno, en cada unidad.

Cabe hacer notar que todos estos tipos de locomotoras, salvo la turbina a vapor tipo 3-D-3 del Pennsylvania Railroad, tienen en común la transmisión eléctrica a los ejes motrices.

De los estudios comparativos de los diferentes sistemas de tracción se observa que algunos tipos de locomotoras tienen ventajas sobre otros. A continuación se indica un resumen de las variaciones más importantes en las características de los diferentes tipos de locomotoras:

Características de funcionamiento: En las locomotoras con transmisión eléctrica a los ejes motrices, hay relativa poca diferencia en la característica de funcionamiento entre un tipo y otro. Sobresale la locomotora eléctrica, en vista de que dispone de energía eléctrica relativamente ilimitada; las otras locomotoras generan ellas mismas su energía. Es por esto que una locomotora eléctrica, de potencia comparable con la de otros tipos, puede desarrollar mayores esfuerzos de tracción a iguales velocidades.

Disponibilidad para servicio: Esta característica puede definirse como el porcentaje del tiempo total en que la locomotora está en servicio o está disponible para efectuarlo. La locomotora Diesel tiene ventaja sobre la de vapor, por no necesitar tiempo alguno en la atención obligada que debe darse al caldero. La locomotora eléctrica, que no tiene planta generadora de energía, es la locomotora con mayor disponibilidad para el servicio. Los porcentajes de disponibilidad para el servicio de los varios tipos de locomotoras se estiman como se indica a continuación:

Locomotora a vapor	65%
Locomotora Diesel eléctrica	84%
Locomotora eléctrica	90%

La disponibilidad de la locomotora con turbina a petróleo será posiblemente más alta que la de la locomotora Diesel.

Combustible: La mayor ventaja que una locomotora puede tener sobre otra es utilizar un combustible barato, con eficiencia térmica alta. Si se combina la eficiencia térmica de un tipo de locomotora con el precio básico del

combustible que utiliza se puede obtener el trabajo que efectúa la locomotora por cada dólar invertido en combustible. Este trabajo expresado en tren millas se indica a continuación para los diferentes tipos de locomotoras:

TIPO DE LOCOMOTORA	Tren-Millas, por dólar gastado en combustible
1. Turbina a gas de carbón.....	4,35
2. Turbina a vapor, con caldero alta presión quemando carbón	2,59
3. Eléctrica	1,94
4. Turbina a petróleo, quemando «Bunker C».....	1,74
5. Diesel Eléctrica	1,59
6. A vapor	1,41
7. Turbina a petróleo quemando petróleo Diesel	1,12

Estos valores indican claramente que la locomotora con turbina a gas de carbón sería la más económica en el uso del combustible. Para la energía eléctrica se ha tomado un precio medio de 10 milésimos de centavo por Kilo-watt-Hora, precio relativamente alto. La economía en explotación de la locomotora con turbina a petróleo varía considerablemente si utiliza petróleo Diesel o petróleo "Bunker C".

Los precios de combustibles han subido constantemente en los últimos 5 años. El petróleo ha tenido mayor aumento; la energía eléctrica ha tenido el menor de los aumentos. Las variaciones de precio del combustible pueden tener gran influencia en el sistema de tracción que se prefiera. En general, los ferrocarriles en Estados Unidos están preocupados por la tendencia al alza del petróleo, pero no temen que pueda haber escasez, salvo en casos de guerra.

Costos de explotación: Los gastos de explotación es uno de los factores más importantes para un ferrocarril.

Aunque es muy difícil poder llegar a comparar los gastos de explotación entre los diferentes tipos de locomotoras, ya que ellos varían de una región a otra y aún de un ferrocarril a otro, se puede llegar a calcular estos gastos en forma aproximada.

Tomando como base a la locomotora a vapor corriente, los gastos comparativos de explotación serían como sigue:

1. Locomotora a vapor, a carbón	100%
2. Locomotora Diesel eléctrica	88%
3. Locomotora con turbina a Gas, quemando petróleo Diesel	86%
4. Locomotora con turbina a vapor, con caldero de alta presión, quemando carbón	74%
5. Locomotora con turbina a Gas, quemando carbón	64%
6. Locomotora eléctrica	55%

En esta comparación se han tomado en cuenta los gastos de combustible y los gastos de reparaciones, en un servicio de carga.

Resumiendo, se puede decir que hoy día, en Estados Unidos, no hay un sistema de tracción que tenga absoluta y total supremacía sobre los otros. En el futuro cercano, todos los sistemas tendrán aplicación según sean las exigencias del transporte ferroviario.

En el futuro, debido a factores imposibles de pronosticar, las consideraciones actuales pueden cambiar. Pueden presentarse adelantos en la técnica que hagan mejorar la eficiencia de un sistema sobre los otros; es posible que estos adelantos sean más notorios en los diseños a base de turbina a petróleo y en la locomotora eléctrica con Ignitrons. La incertidumbre sobre el costo del petróleo para el motor Diesel, como también de su disponibilidad en caso de guerra, pueden influir seriamente en la aplicación futura de las locomotoras que usan este combustible.

La situación actual de los diferentes sistemas de tracción puede resumirse como sigue:

1. **Locomotoras a vapor.**—Este tipo de locomotoras tiende a desaparecer, salvo en aquellos ferrocarriles que tienen tráfico importante de carbón. Aún en estos ferrocarriles, la locomotora a vapor actual desaparecerá si se diseña otra, con tracción eléctrica, que use carbón eficientemente.

2. **Locomotoras eléctricas.**—La locomotora eléctrica puede volver a tener la preponderancia que tuvo sobre otros tipos, si se pueden bajar los costos iniciales de los elementos fijos de una electrificación. La locomotora con Ignitrón puede ser una solución. La locomotora eléctrica tiene características propias superiores a todas las de otros diseños. La abundancia de potencia hidroeléctrica continuará dominando hasta que aparezca otro sistema de tracción que en el precio, pueden también influenciar para aumentar las electrificaciones en Estados Unidos.

3. **Locomotoras Diesel eléctricas.**—En maniobras, este tipo de locomotora no tiene rival y deberá en el futuro, suplantarse en este servicio a los otros tipos.

En el servicio de trenes de pasajeros o carga la locomotora Diesel eléctrica continuará dominando hasta que aparezca otro sistema de tracción que tenga mejores características y eficiencia. La locomotora Diesel eléctrica está en situación difícil para mantener su actual supremacía por el alto costo de conservación del motor Diesel, por las dificultades para obtener personal competente que pueda atender a esta conservación y por la incertidumbre en el precio del petróleo.

4. **Locomotora con Turbina a Vapor.**—Este tipo de locomotora puede desarrollar su aplicación en ferrocarriles que tengan gran tráfico de carbón y que prefieran usar este combustible por su gran rendimiento económico en calderos de alta presión o por razones de orden comercial.

5. **Locomotora con Turbina a Petróleo.**—La locomotora con turbina a petróleo tiene varias características ventajosas sobre otros tipos; es especialmen-

te apropiada para servicio en ferrocarriles que necesiten grandes potencias. Deben aún efectuarse ensayos extensos.

6. Locomotora con Turbina a Gas de Carbón.—La turbina de esta locomotora está aún en proceso de diseño y pasará algún tiempo antes que sea fabricada e instalada en una locomotora. Los estudios efectuados hasta ahora indican que este tipo de locomotora tendrá el mejor rendimiento por dólar gastado en combustible.

La concepción moderna de una locomotora envuelve los siguientes tres principios de diseño:

1º La locomotora debe tener transmisión eléctrica de la energía a los ejes motrices.

2º La locomotora debe tener una eficiencia térmica alta y debe estar disponible para el servicio durante un gran porcentaje del tiempo. Sus gastos de conservación deben ser tan bajos que permita pagar las continuas alzas en los costos de explotación.

3º El diseño debe contemplar el uso de elementos standard de fabricación, con el objeto de bajar el costo inicial, de bajar el costo de los repuestos y, por lo tanto, bajar también los gastos de conservación.

Esta es la concepción moderna de una locomotora.

Se indica a continuación la producción anual de carbón, petróleo y energía eléctrica en Estados Unidos:

Producción de carbón

Millares de toneladas métricas

Año 1948	595.640
» 1949	439.330

Producción de Petróleo

Millares de toneladas métricas

Año 1948	276.200
» 1950	252.000

Producción de energía eléctrica

Millones de kilowatt-horas

Año 1948	282.700
» 1949	291.040