

Electrificación del túnel de la Quiebra

Por JAIME OCAMPO A.

Es verdaderamente lamentable que se pierdan en archivos todos los esfuerzos condensados en las tesis de grado, informes de excursiones, conferencias de clase, etc., y por eso nos hemos impuesto el deber de sacar a luz cuanto sea digno de mérito, o de interés general. Iniciamos hoy esta labor con un capítulo de la tesis de grado de nuestro amigo Jaime Ocampo A., por ser de gran actualidad.

En la próxima entrega ofreceremos una edición extraordinaria con los informes de la excursión al Chocó y varios estudios de los problemas generales que confronta actualmente la Intendencia.

Si esta iniciativa nuestra redunda en estímulo para todos los que preparan tesis e informes, nos sentiremos bien recompensados y la existencia de esta Revista recibirá la mejor justificación.

Antes de llegar la electrificación había muchos túneles operados con locomotoras de vapor. Hoy todavía hay algunos que se operan así, pero su número va decreciendo más y más debido a las ventajas de la electrificación. También los progresos de los métodos de ventilación de los túneles han hecho grandes esfuerzos para disminuir las desventajas de la operación de las locomotoras de vapor.

Puede afirmarse sin temor que la electrificación es un remedio completo para las perturbaciones ocasionadas por la operación de locomotoras de vapor en los túneles; la ventilación es un sustituto que prácticamente acaba con el peligro y efectos desagradables de gases, y se usa a menudo donde el tráfico por el túnel es pequeño y no se justifica el más alto costo de la electrificación.

La razón para la elección de uno de los dos métodos anterio-

res no es generalmente la absoluta necesidad de evitar pérdidas de vida, sino más bien acabar con los efectos extremos y desagradables de los gases, al mismo tiempo hay siempre la posibilidad de accidentes serios debido a la presencia del monóxido de carbono en los gases, y hay gran número de casos de personas que han sido vencidas por el gas de las locomotoras de vapor en los túneles; algunos de estos casos han sido fatales.

Otra razón para la electrificación es mejorar las condiciones del riel. El humo y el hollín mezclados con el vapor condensado y la humedad de los rieles hacen que estos se pongan porosos y que las ruedas impulsoras de las locomotoras tengan una gran tendencia a deslizarse. En otras palabras el coeficiente de adhesión se baja y debe usarse una locomotora más pesada para el mismo peso del tren o lo que es lo mismo arrastrar un tren más liviano.

Otra razón más para electrificar o ventilar un túnel es la de hacer el sostenimiento de la carriera más seguro y más económico. Con la operación a vapor la atmósfera en los túneles llega a ser tan pesada que los hombres de la cuadrilla de sostenimiento son incapaces de ver unos pocos pies adelante. Bajo tales condiciones el trabajo de carriera es costoso y peligroso.

Con la operación a vapor en un túnel, si un tren, por cualquier motivo, tiene que partirse en dos, lo que puede suceder fácilmente en una pendiente del 2 o/o, los frenos de mano no pueden aplicarse con prontitud porque los freneros están sofocados.

Las razones que se han tenido para electrificar algunos túneles van a continuación:

El túnel de la Cascada, de 2,75 millas de longitud y 1.65 o/o de pendiente en promedio, fue electrificado en 1909. El humo y los gases de la locomotora de vapor llegaron a ser tan peligrosos que las tripulaciones de las máquinas sólo podían obrar con mucha dificultad, pero lo que más movió a hacer el cambio por energía eléctrica fue la demora que tuvo un tren de pasajeros por cualquier ligera perturbación en la máquina. La tripulación salió toda a reparar el daño pero fue vencida por los humos;; se evitó un serio accidente solamente por la circunstancia de que un fogonero, fuera de servicio, que estaba en los coches ese día, notó que el tren se había parado largo rato, fue a la máquina, encontró el daño e hizo partir el tren.

Las razones para electrificar el túnel de Hoosac, según reza el Electric Journal están dadas en las siguientes líneas:

"En muchos casos maquinista y frenero eran tan atacados por

el humo y los gases, que hasta requerían tratamiento de hospital. Las condiciones del riel eran tan malas que era necesario que el maquinista colocase una manivela, que terminaba en escoba, contra la pared del túnel para que esta le indicase si el tren se movía o no. En otra ocasión un maquinista de un tren de pasajeros estaba tan engañado por el sonido del "exhaust" y el movimiento de la locomotora, que permitió que las impulsoras se deslizasen hasta tal punto que él fue advertido de esto por un oficial de servicio que se hallaba en el carro de equipajes y descubrió que el tren se había devuelto hasta la parada inmediatamente anterior. Fue tan continuo este deslizamiento en todos los viajes que los rieles y las llantas se gastaron completamente.

El movimiento de los trenes de pasajeros no tenía ningún confort, porque a pesar de las ventanas cerradas y de los ventiladores el humo y los gases entraban a los coches en un alto grado. Los coches llegaban tan cubiertos de humedad y hollín en un solo viaje que requerían limpieza general de los pasamanos y de las ventanas. El sostenimiento de la carriera era muy difícil y excesivamente costoso. Los hombres de la cuadrilla de sostenimiento eran solo capaces de trabajar dos horas en promedio por día de 10 horas, siendo el humo durante la mayor parte del tiempo tan espeso que hacía completamente inútiles sus antorchas. La vida de un riel de 80 libras era alrededor de tres años y medio o cuatro, debida a la acción corrosiva de la humedad y de los gases y de la abrasión que resultaba del empleo de grandes cantidades de arena".

En el túnel de Sarniaen las salidas tenía 2% de pendientes y era preciso usar dos máquinas para arrastrar el tren con operación a vapor, lo que hacía que las condiciones atmosféricas llegasen a ser tan malas que los accidentes se sucedían con bastante frecuencia lo que ocasionaba pérdidas de vida por asfixia.

Va en seguida una lista de los más importantes túneles electrificados:

Nombre	Ferrocarril	Longitud	Pendiente
Túnel de la Cascada	Great Northern RR.	2,75 millas	1,65 %
Túnel de Hoosac	Boston & Maine	5	0,5
Park Avenue	N. Y. Central	2,5	1,04
Nount Royal Tunel	Can. National Ry.	3,3	0,60
Sarnia Tunel	Grand Trunk RR.	1	2,00

Detroit River Tunel	N. Y. Central	1,5	2.00
Elkhorn Tunnel	Nolfork & Western	0,6	1,50
N. Y. City Tunnels	Penn. RR.	5.00	1,93

También puede mencionarse las electrificaciones hechas en el año de 1924 en el Spanish Northern Railway. En esta línea hay 71 túneles en una distancia de 38 y media millas, y el túnel más largo tiene 10.800 pies. Doce locomotoras eléctricas reemplazaron 28 locomotoras de vapor. La siguiente estadística de operación da una idea de las proyecciones de la mejora.

Con operación a vapor: 704.000 locomotoras-millas movieron 92,600.000 toneladas-millas de tráfico en 1923.

Con operación eléctrica: 363,096 locomotoras-millas movieron 90.700,660 toneladas millas en 1925 (de tráfico).

Por lo tanto con la operación eléctrica prácticamente el mismo tonelaje movido con el 51,6% del recorrido de las locomotoras en 1923.

En muchos túneles hay generalmente una cierta cantidad de ventilación natural debida a la presión del viento y a la diferencia de elevación de los portales, pero esta no puede tenerse en cuenta. Las condiciones atmosféricas son tan variables que en ciertas ocasiones, como se dice comúnmente, no se mueve una paja. Mientras menor sea el tráfico por el túnel, menor será la cantidad de humo y de gases, pero si un tren se pára en el túnel por cualquier motivo, las condiciones pronto se acercan a aquellas que se tienen con gran tráfico.

Con fuel oil, en una pendiente del 2%, la cantidad de humo y gases de la locomotora será grande a menos que el carburador esté casi completamente cerrado (cosa que se hace rara vez en la práctica). Aunque el número de trenes por día fuese pequeño, creo que habría, o mejor que hay, bastante peligro de que la tripulación del tren sea vencida si el tren se detiene, o si las condiciones atmosféricas fuesen tales que el humo y los gases se acumulasen y no saliesen, después de que un tren pase y antes de que el siguiente entre en el túnel.

El uso de lignito en el túnel es peligroso a causa de la gran cantidad de monóxido de carbono que hay en los gases. El humo de este combustible sería considerablemente mayor que en el caso del fuel oil.

La necesidad de electrificación puede, por lo tanto, no depender únicamente del número de trenes que van a pasar o pasan por el túnel, sino también grandemente de las condiciones atmosféricas, calidad del combustible y peso del tren arrastrado en la pendiente.

No debe perderse de vista el mejoramiento de las condiciones del riel porque esto es muy importante y por lo tanto debe dársele cuidadosa atención.

El trabajo de electrificación en "La Quiebra" hubiese sido mucho más barato antes de la terminación de la construcción del túnel, porque ya hoy hay que darle una organización distinta.

El túnel que más se parece en sus condiciones por el carácter del servicio para la instalación eléctrica, es el túnel de Hoosac en el Boston and Maine; en éste las locomotoras de vapor eran arrastradas por el fue prendido pero sin alimentación, por las locomotoras eléctricas.

ELECTRIFICACION

Datos para la electrificación

I.—Longitud de la carillera que va a electrificarse: Túnel 12.237 pies; fuera del túnel de lado del Limón 1270 pies y apartadero de 665; del lado de Santiago 1000 pies y 665 pies de apartadero; longitud total de la carillera 15.837 pies.

II.—Pendiente máxima 2% con carga máxima. Perfil como sigue: este a oeste; término 1%; 6903 en el túnel con 2%; 5.334 pies 0.25%; portal del oeste a nivel.

III. Los tipos de los carros son los actuales del ferrocarril de Antioquia y se han puesto para el tren máximo a su máxima capacidad así: de 1a. 32 y media toneladas; de 2a. 25 toneladas; de 3a. 25 toneladas; de carga 30 toneladas; y jaula de 30 toneladas; se entiende todos cargados.

IV.—El tren máximo constará de: 2 carros de pasajeros de primera; 2 de 2a.; 3 de tercera; 3 de carga y 1 jaula y una locomotora de vapor de 100 toneladas.

V.—9 trenes cada 24 horas en cada dirección.

VI.—Velocidad mínima en la pendiente del 2% 10 millas por hora.

VII.—La mayor altura de los carros de pasajeros es de 12' 6"

sobre la parte alta del riel; y la mayor altura de los carros de carga es 11' 7".

VIII.—Riel permanente de 60 libras por yarda.

IX.—Se electrificarán dos apartaderos de 665 pies uno en cada portal.

X.—Suministro de energía: Planta Hidroeléctrica, trifásica, 60 ciclos, 460 voltios, 800 kilowatios a 80% de factor de potencia.

XI.—Los trenes deben poder arrancar en la máxima pendiente.

XII.—La casa de reparaciones está a 4 millas del Limón.

XIII.—Fuel oil y lignito son los combustibles usados en las locomotoras de vapor; el último es detestable en las pendientes por sus humos.

XIV.—De la longitud total del túnel 1.200 pies están en línea recta.

XV.—Costo de potencia eléctrica en la planta hidroeléctrica: costo actual de la planta 210.000.

Costo de funcionamiento por día de trabajo de la planta:

3 operadores a \$ 5.00	\$ 15.00
2 vigilantes a \$ 2,50	5.00
Sostenimiento	6.67
	—————
Costo por día	26.67

Capacidad de la planta: 2 generadores de 500 kw montados por 2 ruedas pelton de 600 HP.

XVI.—Costo de taladro de huecos de 1" en la roca del túnel de 8" de profundidad para los soportes del trolley 8 centavos por hueco más 35% de recargo.

XVII.—Cargos fijos en la planta:

Aseguro	0 %
Interés y depreciación	9
Impuestos	0
	—————
Total	9 %

XVIII.—Elevación del túnel sobre el nivel del mar 4.000 pies.

XIX.—Longitud del riel 33 pies.

XX.—El túnel estará húmedo en parte.

XXI.—Se supone que hay suficiente espacio en la planta para la colocación de los aparatos de la subestación.

SOLUCION DEL PROBLEMA.—En el diseño de un sistema de electrificación para el túnel de la Quiebra debe tenerse en cuenta que no es necesario mantener la calidad y frecuencia de servicio que se encuentra en la Grand Central Terminal en New York.

Los aparatos costosos para las economías de energía no se necesitan.

El costo inicial debe mantenerse tan bajo como sea posible aun cuando las probabilidades de demora aumenten.

Una locomotora eléctrica es suficiente para mantener el itinerario actual de los trenes. No se cree necesario, o mejor no se justifica una locomotora de repuesto, porque poco hay que pueda sacar la locomotora eléctrica de su trabajo normal y las reparaciones son simples y se hacen rápidamente; de la misma manera no hay necesidad de dejar una locomotora de vapor para ayudar a arrastrar, porque en caso de que la eléctrica no pueda con el tren la locomotora de vapor que ésta arrastra puede ayudarle. Teniendo un troque de repuesto con motores a la mano, se evita una demora mayor de unas pocas horas porque sólo se necesitaría cambiar troques en el cobertizo que sólo queda a cuatro millas.

El peso requerido en las impulsoras se determina por el tonejaje que va a ser arrastrado y el porcentaje de pendiente; la condición límite es pendiente del 2% en el extremo oeste del túnel. El tren máximo constará de 12 carros que pesan 310 toneladas y una locomotora de vapor de 100 toneladas. Se va a usar un valor nominal de 20%.

Se supone que de acuerdo con la mejor práctica la locomotora de vapor en el túnel operará (on "drifting throttle") dejando pasar solamente el vapor necesario para evitar el daño que se causa, por recalentamiento, en las paredes de los cilindros y en los pistones, debido esto al recorrido continuo sin vapor en los cilindros; aunque esto reduce la fricción en la máquina probablemente no la vence del todo. Por esta razón se ha admitido como base primordial usar 7 libras por tonelada tanto para la resistencia de la locomotora, como para la resistencia del tren. Para las velocidades en cuestión puede usarse el mismo valor para la locomotora eléctrica.

El peso requerido de la locomotora se obtiene como sigue:

2 carros de pasajeros de primera, 32 $\frac{1}{2}$	toneladas, 65	toneladas
2 carros de pasajeros de segunda, 25	50	
3 carros de pasajeros de tercera, 25	75	
3 carros de carga, cargados, 30	90	
1 jaula para animales	30	
1 locomotora	100	tons. méts.
		Suma 410

410 toneladas métricas igual 451 toneladas de los Estados Unidos.

Cuando resistencia a la pendiente igual 2% por 20 igual 40 lbs/tonelada.

Cuando resistencia del tren igual 7.

L igual peso de la locomotora eléctrica en toneladas americanas está dado por la siguiente igualdad:

$$(451 + L) (40 + 7) = 0.20 \times 2000 \times L, \text{ de donde } L = 60 \text{ toneladas.}$$

De manera que bajo buenas condiciones del riel en el túnel, una locomotora eléctrica de 60 toneladas hará partir el máximo tren de 451 toneladas, incluyendo la locomotora de vapor de 100 toneladas en la pendiente del 2%. Sin embargo si las condiciones del riel son pobres unas pocas revoluciones de las ruedas impulsoras de la locomotora de vapor bastarán para hacer mover a esta en tanto que la locomotora eléctrica se encarga de hacer partir el resto sin dificultad.

Una locomotora eléctrica más pesada aumentaría el costo de la electrificación considerablemente, como que esto significaría aumento de capacidad en los aparatos generadores de la planta de energía, como también una maquinaria más grande de la subestación y el empleo de cables alimentadores.

Se recomienda un sistema aéreo de alambre de trolley, más bien que el sistema de tercer riel; el primero cuesta por ahí la tercera parte de lo que cuesta el segundo y es menos peligroso; un tercer riel interfiere considerablemente con el sostenimiento de la carriera y es especialmente peligroso en los trópicos en donde una persona

está húmeda y su resistencia es menor; en otras palabras el choque eléctrico, en estas condiciones, es más apto para ser fatal.

Si la práctica propuesta de arrastrar la locomotora de vapor por la eléctrica a través del túnel, va a continuar indifnidamente, hay que usar accesorios especiales para el trolley, porque los gases que se escapan de la locomotora de vapor corroen los accesorios comunes gradualmente.

Hay varios sistemas de electrificación usando corriente alterna en los motores; pero estos no necesitan considerarse en detalle porque estos son todos menos aconsejables por razones prácticas y costaría mucho más instalarlos y operarlos.

El sistema de electrificación recomendado incluye un sistema de contacto que consiste en un alambre de trolley aéreo con alambre adicional para alimentador y la unión eléctrica (bond) de los rieles de la carrilera para el circuito de retorno; los aparatos de la subestación instalados en la planta de energía cerca al portal de "El Limón"; una locomotora eléctrica de 60 toneladas capaz de arrastrar un tren de 451 toneladas en una pendiente de 2%, y hacer el viaje de 3 millas en 15 minutos, un completo surtido de repuestos para la locomotora y los aparatos de la subestación. El voltaje usado en el trolley será de 600 voltios y corriente directa. Los aparatos de la subestación consistirán en un conversor rotatorio de 350 kw., transformadores y tablero de swiches para convertir la actual corriente alterna de 460 voltios en corriente directa a 600 voltios.

La carga en la planta de fuerza debido a la electrificación será cuando el tren más pesado (451 toneladas incluyendo la locomotora de vapor) esté partiendo en la pendiente del 2%. Esta carga será 600 kw, pero sólo ocurre ocasionalmente. La energía total requerida por año para operar la electrificación sería aproximadamente unos 650.000 kw hora.

Un buen cargo para esta energía sería:

a) un cargo de \$ 12.00 por año por kw igual	\$ 7.200
b) un cargo de energía de 1 centavo por kw hora	\$ 6.500

o sea un cargo anual para potencia de \$ 13.700

La electrificación completa se supone que cuesta \$ 102.900. Los detalles de este costo van a continuación.

El costo anual de operación de la electrificación será aproximadamente como sigue:

Cargos fijos 9% de 102.900 digamos	\$ 9,300
Sostenimiento de locomotoras; 3 millas por 18 viajes por 365 días=18.710 y con los extras=20.000 locomotoras millas/año a 0,05 la locomotora milla	\$ 1.000
2 conductores de locomotora 365 días a \$ 5.00 cada una	\$ 3.650
Sostenimiento de la subestación y del trolley	\$ 1.105
Cargo por energía eléctrica	\$ 13.700
Costo total	\$ 28.755

PRESUPUESTO DE ELECTRIFICACION DEL TUNEL DE LA QUIEBRA (F. C. de A.)

1 locomotora eléctrica de 60 toneladas	35.000
Flete marítimo 10 por tonelada	
Flete fluvial 60 por tonelada	
Extras 20 por tonelada	
60 toneladas × 90 por tonelada	5.400
	40.400
1 troque completo de locomotoras con 2 motores FAS N. Y.	6.000
Flete a \$ 90.00 tonelada	1.800
	7.800
1 equipo de subestación consistente en: 1 conversor rotatorio de 350 kw con repuesto de armadura y carrete del campo; 3 transformadores y repuesto de tablero de swiches operado a mano. Todo FAS N. Y.	11.000
Flete marítimo \$ 10.00 por tonelada	
Flete fluvial 60.00 por tonelada	
Extras 20.00 por tonelada	
16 toneladas a \$ 90.00 por tonelada digamos	1.500
Instalación de los aparatos de la subestación	12.500

promedio de 6 hombres a \$ 6 día en 1 mes	1.000
Fundaciones	500
Cálculo de la línea aérea del trolley como lo da el respectivo cálculo	20.600
1 Ingeniero armador encargado de la instalación del alambre de trolley, unión de los rieles, aparatos de la subestación, hasta que estén en servicio así como también las locomotoras. \$ 6000.00 por año más los gastos. Suponiendo que este trabajo dura 6 meses, digamos	5.000
30% de recargo en la instalación de la subestación y del alambre de trolley, o sea \$ 22.100 por 0.30 digamos	7.000
Trabajo de Ingeniería y de diseño	3.000
Imprevistos	5.000
 Total,	 \$ 102.900

SISTEMA DE CONTACTO

Cálculo de costo de la línea del trolley para el túnel de La Quiebra

Línea de alimentación	Material	Trabajo
5.000 pies de cable liso de 500.000 c. m. a 0.30 \$ 1.500		
18 postes de madera, con brazos conseguidos en la localidad a \$ 10.00	180	
Colocación de los 18 postes a \$ 10.00		180
Aisladores 36 a 0.50 digamos	20	
Servicio de suiches	100	70
Tendida de los 5000 pies de alambre a 015 pie		750
	1.800	1.000

Línea de trolley en el túnel

12237 pies de alambre más el adicional en la pendiente del 2%, digamos en total 20.000 pies de alambre de trolley de 4/0 a 0.14	2.800
Tendida o colocación del trolley 20.000 pies a 0.10	2.000

Alambres y accesorios colocados a 75 pies 165 a		
6.50	1.075	
Perforación de agujeros: 330 a 0.25 digamos	100	
Colocación de los alambres de tensión a 4.00	660	
Anclajes a cada media milla	50	50
	—	—
	3.925	2.810

Línea de trolley fuera del túnel	Material	Trabajo
----------------------------------	----------	---------

Carrilera simple

935 pies de alambre de trolley 4/0 a 0.14	1.30	
Tendida de los 935 pies a 0.05	50	
15 repisas a 4.00 y 5.00	60	75
15 postes a 10.00 c. u. y 10 \$ de colocación de c u	150	150

Carrilera doble

2660 pies de alambre de trolley a 0.14	375	
Tendida de este alambre	130	
Construcción de las luces de 60 pies, 24 luces	85	100
24 postes a 10.00 c. u.	240	240
	—	—
Total	1.040	745

Unión eléctrica de los rieles

Unión eléctrica a \$ 1.50; trabajo \$ 2.50		
2 x 15837 pies = 960 (1 por unión, riel de 33 pies de largo, dos rieles)	2.400	
960 junturas a los precios indicados	1.440	
Herramientas para la juntura. Taladro y prensa	460	—
	—	—
Total	1.900	2.400

Resumen

Línea de alimentación	1.800	1.000
Trolley en el túnel	3.925	3.810

Trolley fuera del túnel	1.040	745
Junturas	1.900	2.400
	<hr/>	<hr/>
Suma	8.665	6.995
Los anteriores precios son en N. Y.		
Añadiendo \$ 10 por tonelada por flete marítimo		
60 " " " fluvial		
70 por 20 toneladas digamos	1.435	
Añadiendo el costo del trabajo 50% por trabajo		
menos eficiente, digamos		3.545
	<hr/>	<hr/>
Costo total del sistema aéreo y de las junturas		\$ 20.600.00

Tercer riel

Hemos dicho ya atrás que este sistema era dos o tres veces más costoso que el sistema aéreo de contacto, por trolley; en el presupuesto que va a continuación probaremos la verdad de nuestro aserto.

Presupuesto del sistema de contacto usando el tercer riel

Riel de contacto de 75 libras a \$ 62.70 la tonelada brut FAS en N. Y.

16.00 pies a 0.75 el pie (0.03 la libra)	0.75	
Aisladores, cubierta y consolás, promedio por pie	0.25	
	<hr/>	
1600 pies a	1.00	16.000
Instalación del riel de contacto a 0.35 el pie		5.600
Tabla protectora, 16.000 pies a 0.55		8.800
Unión del riel de contacto, 16.000 pies a 0.25		4.000
Anclajes 12 a \$ 25.00 c/u		300
9 uniones de expansión a 200.00 c/u		1.800
	<hr/>	
		36.500
Flete del riel de contacto y de los anteriores materiales:		
210 toneladas a 70.00		14.700
Añadiendo 50% al laboreo de los items anteriores a-		
proximadamente		7.300

Unión de riel de la carrilera para el trolley:

Materiales	1.900	
Flete de 4 toneladas a 70	280	
Trabajo	2.400	
añadiendo el 50%	1.200	
	5.780	5.780

Línea alimentadora, lo mismo que para el trolley:

Materiales	1.800	
Flete de 5 toneladas a 70	350	
Trabajo más 50%	1.500	
	3.650	3.650
Costo total del sistema de contacto usando tercer riel		67.930