

BEIRUT-DAMASCO

FERROCARRIL COMBINADO DE ADHERENCIA I CREMALLERA

(De la «Revue Polytechnique», Zurich)

El artículo que sigue, es tomado de un estudio publicado por el conocido ingeniero suizo, señor Roman Abt.

Creo que este estudio es de actualidad e interés para nosotros, que nos encontramos hace años empeñados en llevar a cabo un ferrocarril parecido a través de Los Andes. Aunque el ferrocarril de que trata el artículo, no presenta las dificultades ni las proporciones como el proyectado por Uspallata, podrá, sin embargo servir de algo su estudio, principalmente cuando se trata de un ferrocarril de sistema combinado, llamado a ser de gran importancia por su gran movimiento i tráfico.

Se ha probado con esta línea una vez mas, que el sistema combinado no ofrece ninguna clase de dificultades a una buena explotación. Las velocidades en trechos con cremalleras son modestas aún, pero con la experiencia i práctica aumentarán. El sistema combinado podrá también ser de gran utilidad a nuestra industria minera, en terrenos tan quebrados i con enormes diferencias de nivel, como se presentan en nuestros distritos mineros. Puede ser que la lectura del presente artículo anime a algun industrial emprendedor a implantar este sistema en el país!

Santiago, Setiembre de 1896.

ARNOLDO RIED

BEIRUT-DAMASCO

¡Una línea férrea que atraviesa el Líbano, internándose en los misteriosos campos de Siria! ¡Los pensamientos vuelan por sobre la naturaleza maravillosa, el escenario especial de esos mundos, las gentes i costumbres de esas tierras i la gran historia de ese país!

Allí está «Beirut», la antigua ciudad de los Fenicios i desde tiempos remotos una ciudad floreciente por su industria en sedas, un Lyon en los tiempos de Jesucristo; en seguida, bajo el imperio romano, célebre por su cátedra de jurisprudencia. Beirut fué destruida en 529 por un terremoto, i desde entonces se levantó mui despacio. En los últimos treinta años ha aumentado la población de Beirut desde 25 a 120,000 almas, i en el año 1893 alcanzó su esportacion a 20 millones i su importacion a 55 millones de francos.

En el otro extremo del ferrocarril está Damasco, la ciudad santa, la perla del Oriente, cuya historia tiene mas de 4,000 años, llegando hasta los tiempos remotos de Abraham. Actualmente cuenta Damasco con 250,000 almas; tiene 200 mezquitas, industrias importantes en sederías, muebles, cueros, etc. Aquí en Damasco es en donde se reúne anualmente la santa caravana, la cual, después de recibir del sultán la gran alfombra, emprende la romería a Meca, a la tumba del profeta.

Los alrededores de Damasco son un verdadero paraíso: bosques enteros de rosas, arrayan, granadas, damascos; millones de flores de distintas clases i variadas formas; todo regado por infinitos arroyos, forman un tapiz encantador.

Al sur de Damasco se extiende la inmensa llanura de Hauran, la que surte de trigo a toda la Siria.

Entre estos dos puntos de término se ha construido la línea férrea de que tratamos. Desde el mar sube la línea por una depresión del Líbano, con fuerte gradiente, baja con la misma pendiente al valle El Beka, lo atraviesa i sube en seguida al Anti-

libano, lo pasa por un portezuelo i baja suavemente hasta llegar a las puertas de Damasco.

El viajero que atraviesa hoy día este país tan altamente interesante, se admira de encontrar todo como lo cuenta la Biblia; dos mil años han trascurrido sin alterar el carácter especial del antiguo Oriente! Los legendarios cedros del Libano, esos sí que han desaparecido. Solamente 370 ejemplares de este árbol clásico sueñan, encerrados por alta muralla de otros tiempos. Tres mil años han pasado por sobre sus cogollos, i siempre sigue su tronco sano i formidable. Algunos cedros tienen 15 metros de circunferencia.

CAMINO CARRETERO

En tiempos lejanos deben haber existido varios caminos a través del Libano al interior; así lo demuestran unos pocos restos que quedan. Al lado de ellos se formaron un sinnúmero de senderos hechos por el camello.

El 20 de Agosto de 1858 se constituyó en París la «Compagnie Ottomane de la route de Beyrouth à Damas». Tenia por objeto la construcción i explotación de un camino carretero entre las dos ciudades. Presidia esa empresa el Conde de Terthuis, el mismo caballero que hoy está a la cabeza de la Compañía del Ferrocarril.

La construcción del camino se principió en 1859 i concluyó en 1862. El camino pasa el Libano a una altura de 1,542 metros. Tiene 6 a 8 metros de ancho, un largo de 112 km. i una gradiente máxima de 8‰. Su costo, inclusive gastos para la formación de la sociedad, fué de 3.700,000 francos, o sea 33,000 francos por kilómetro.

FERROCARRIL

A causa del incremento tan grande que tomó el tráfico de carga i pasajeros i para evitar la competencia inglesa, se formó en Diciembre de 1891 en París la «Compagnie Ottomane de chemins de fer économiques en Syrie», de la cual formó parte la compañía del camino carretero.

El capital suscrito fué de 10.000,000 de francos en acciones i 0.000,000 de francos en obligaciones.

La duracion de la concesion, obtenida del gobierno turco, es de 99 años.

Los trabajos de construccion fueron encomendados a la «Société de Constructions des Batignolles à Paris», por la suma de 17 millones de francos *en régie cointéressée*.

En Agosto de 1895 se inauguró la línea.

Trazado jeneral. — El ferrocarril principia actualmente como a 5 kilómetros de Beirut, en un terreno a propósito, plano i esenso; ya se están ejecutando los trabajos de la línea que conducirá a la ciudad i al pueblo.

En los primeros 5 kilómetros la línea recorre un llano fértil, cuyo nivel está a pocos metros sobre el mar; en seguida principia la subida con 70‰ de gradiente. La gradiente sigue asi interrumpida de vez en cuando por ramplas de 25‰ de simple adhesion, hasta llegar a la altura de 1,487 metros. En Arraya Aley, kilómetros 18 i 22, se construyeron zig-zags. En el punto mas alto de la línea hai un socabon corto, despues del cual principia la bajada con cremallera hasta la estacion de Zahle t Muallakah, 920 metros sobre el mar, situada en el valle de Bekaa. Hasta esta estacion, a 56 kilómetros de Beirut, llegan las locomotoras de cremallera. La direccion jeneral de la línea, que habia sido hasta aqui la de Damasco, se inclina ahora un tanto al norte, buscando una pasada favorable en el Antilibano, que se encontró a 485 metros sobre Muallakah. Todo el trayecto de Muallakah a Damasco se hace con simple adhesion, siendo su gradiente máxima de 25‰. La distancia total de Beirut a Damasco es de 146 kilómetros. Damasco está a 687 metros sobre el mar.

Gradientes. — Para atravesar el Libano con cremallera se adoptaron gradientes de 70‰ en el lado poniente i 60‰ en el oriente. Como la mayor movilizacion de carga va del interior a la costa, se puso la gradiente mas fuerte a favor de la carga. En los tramos de simple adhesion la gradiente máxima es de 25‰.

Trocha. — La línea férrea existente en el valle central de Hauran

tenia una trocha de 105 centímetros, i como esta linea forma ahora parte de la misma Compañia, se tuvo que adoptar la misma trocha para la linea Beirut-Damasco.

Curvas.—En las estaciones i linea de simple adhesion hai curvas de un radio minimo de 100 m^l.; en la linea de cremallera el minimo es de 120 m^l. En estas curvas se dió a la trocha un ensanche de 12 mm., i el riel exterior se colocó 60 mm. mas alto que el riel interior.

INFRASTRUCTURA

El terreno demostró en jeneral ser favorable para obtener una infraestructura sólida. En partes de la linea se encuentra una piedra calcinosa i tosca; con mas frecuencia se encuentra una tierra gredosa, característica a esas rejiones, que en tiempo seco se endurece como ladrillo cocido i que forma casi barro en tiempo lluvioso.

El lastre se colocó en un espesor de 30 cm., cuidando que las piedras mas grandes quedasen en la parte inferior, i debajo de los durmientes la piedra mas menuda. En algunas partes de subsuelo húmedo, se hizo una cama de piedra en seco, colocada a mano. Mucha atencion se prestó a los desagües, construyendo fosos abiertos, canales empedrados en los cortes, i alcantarillas anchas en piedra canteada en los terraplenes. En jeneral, nunca está demas lo que se proyecte i haga en este sentido, i es una práctica mui mal entendida, la de querer economizar en cuestion de desagües.

SUPERSTRUCTURA

Tomando en cuenta la gran escasez de maderas en Siria, lo que se gastaria en conservacion de la linea a causa de las influencias atmosféricas, i considerando las muchas curvas de la linea i la fuerza de traccion tan grande, que se desarrollaria en las gradientes, se optó desde un principio por una superestructura de fierro.

Rieles.—Son de acero, perfil Vignoles; pesan 27,6 kg. por m^l. i

tienen 116 mm. de alto. El largo *standard* de los rieles es de 9,90 m.

Eclisas.—Se les dió la forma angular jeneralmente adoptada, iguales para la parte interior i exterior. Su largo es de 610 mm. i cada par tiene 4 pernos. Las eclisas descansan en sus extremos sobre dos durmientes colocados a 450 mm. de centro a centro, i con los cuales estan unidos por uñas.

Accesorios.—Los rieles estan sujetos a los durmientes por los pernos i uñas (figura). Para las lineas con cremallera se construyeron 3 clases de uñas A, B, C, cuyo gueso P varia entre 12, 16 i 20 mm. Con estas tres distintas dimensiones se efectúa el ensanche de la linea en las curvas. En la linea recta se coloca A interiormente, C en el lado exterior del riel; con esto se fija la trocha normal de 105 cm. En curvas cuyo radio baja hasta 350 m. se dejan las uñas A i C como estan, en el riel exterior, en el riel interior se colocan dos uñas B, obteniendo asi un ensanche de 4 mm. Para curvas desde 320 a 200 m., se colocan tambien en el riel exterior 2 uñas B, ensanchándose con esto la trocha simétricamente al eje, en 8 mm. En curvas de ménos de 200 m. quedan las uñas B en el riel exterior, i en el riel interior se coloca en su lado interior una uña C i en el lado exterior una uña A, consiguiendo de esta manera un ensanche total de 12 mm., del cual 4 mm. tocan al riel exterior i 8 mm. al interior.

Los *Durmientes* son de fierro, perfil Vautherin. Los cantos i la parte del eje longitudinal se reforzaron, dando mas espesor al fierro. En los extremos se doblaron las puntas para cerrar el cajon del durmiente. Para conseguir la inclinacion de $1/20$, que se dió a los rieles, se doblaron hácia arriba los extremos del durmiente en un largo de 420 mm. desde las puntas. El peso del durmiente, cuyo largo es de 1,850 mm., es de 37,8 Kg. Los durmientes se colocaron en distancias de 900 mm. de centro a centro; solamente en las junturas de los rieles se intercaló un durmiente, quedando a 450 mm. de centro a centro.

La *cremallera* se colocó en todas las gradientes de mas de 25‰ . La cremallera se compone de dos piezas de acero de 26 mm. de grueso i un largo de 1,800 mm., cuyos dientes estan entreverados.

El paso de los dientes es de 120 mm., de los cuales 60 mm. corresponden al diente mismo i 60 al vacío. La línea de paso se encuentra a 15 mm. debajo del canto superior del riel.

La cremallera descansa sobre sillas de fierro fundido, las que están afianzadas sobre los durmientes por medio de pernos de 20 mm. de diámetro. Las juntas de la cremallera están reforzadas por una plancha de fierro de 10 mm. de grueso. Debajo de todas las tuercas se colocaron golillas-resorte.

La entrada a la cremallera se hace automáticamente, por medio de una lengüeta movable. Esta lengüeta está enbisagrada con la cremallera i descansa sobre sillas con resortes, que la conservan en la altura necesaria. La entrada de la locomotora a la cremallera se hace sin dificultad, sin golpe i sin ruido. A los maquinistas se les ha dado instrucciones de no entrar ni salir de la cremallera con más de 10 Km. de velocidad, pero se ha visto que lo hacen hasta con 25 km. i esto sin el menor inconveniente.

El total de entradas es de 32, es decir, hai 16 trechos con cremallera con un largo total de 32 kilómetros.

En los pasos a nivel de caminos con mucho tráfico se reforzó la cremallera con una plancha de fierro i a mas un fierro angular.

Para evitar que la superestructura se mueva hacia abajo en pendientes fuertes, se hicieron macizos de concreto de 1 m³. de volumen, colocados debajo de la línea en distancias de 50 a 100 m¹. Dos pedazos de riel bien afianzados en el concreto sujetan los durmientes i evitan que se puedan mover.

La cremallera fué hecha por la compañía «Union» de Dortmund (Alemania); los rieles i accesorios fueron hechos en Bélgica.

El peso de la superestructura i de sus distintas piezas, es el siguiente:

N.º	INDICACION DE LAS PIEZAS	Número de piezas por Km.	PESO EN KILÓGRAMOS		
			Por pieza	Por Km.	Total por Km.
1	Riel.....	202	273,3	55,240	
2	Durmiente.....	1,212	37,8	45,894	
3	Eclisas.....	404	6,80	2,755	
4	Pernos de eclisas.....	808	0,40	323	
5	Id. de uñas.....	4,848	0,28	1,357	
6	Uñas.....	4,848	0,28		
	A.....		0,28		
	B.....		0,40	1,457	
	C.....		0,33		
7	Golillas.....	5,656	0,24	136	
Superestructura de simple adhesion.....				1,457	107,162
8	Cremallera.....	1,111	32,2	35,777	
9	Sillas.....	1,111	6,7	7,444	
10	Eclisas.....	1,111	0,42	467	
11	Pernos para cremallera.....	2,222	0,51	1,133	
12	Id. id. sillas.....	2,222	0,30	677	
13	Golillas.....	4,444	0,024	107	
Superestructura de cremallera.....					45,595
Id. combinada.....					152,757

LOCOMOTORAS

Máquinas de adhesión, es una locomotora-tender, con tres ejes acoplados, construidas en la fábrica de locomotoras en Winterthur (Suiza). El combustible está colocado detrás del maquinista, el agua a ambos lados del caldero. Los detalles principales de las locomotoras, son:

Presión en el caldero.....	12atm.	Golpe del pistón.....	550 »
Superficie de la parilla.....	1,4 m	Diámetros de ruedas acopladas.....	1,050 »
Id. caldeada.....	80,4 »	Id. de ruedas boggie.....	750 »
Diámetro del cilindro.....	380 mm	Distancia entre ruedas acopladas.....	2,800 mm

Distancia total entre ruedas.....	5,000 mm	Peso de máquina en servicio.....	40,000 ks.
Agua en estanque..	4,600 ks.	Peso de adhesión...	30,000 »
Carbon.....	2,000 »	Fuerza de trac-	
Peso de máquina, vacía.....	30,700 »	ción.....	5,000 »

Máquinas de cremallera.—La disposición jeneral es igual a las locomotoras de sistema combinado, usadas en otras líneas: dos pares de cilindros, mecanismo separado para adhesión i cremallera, caldero comun. Las ruedas de atrás forman boggie movable.

La locomotora lleva una reserva de 7,5 toneladas entre agua i carbon; su peso máximo en estado de servicio es de 44 toneladas. Tomando todo este peso obrando a favor de la adhesión, tendríamos, si tomamos el coeficiente de adhesión $=\frac{1}{3}$, una fuerza de tracción en la circunferencia de la rueda igual a 7,000 Kgs. Esta fuerza prevalecería solamente teniendo la locomotora un peso máximo, es decir, estando su estanque i carbonera llenos. Durante el viaje disminuye el combustible i el agua, por consiguiente el peso de la máquina, i agotándose ámbos, el peso de la locomotora es solamente de 36,5 toneladas a lo que corresponde una fuerza de tracción de 6,100 Kgs. El maquinista tiene que contar con una disminución de las fuerzas disponibles. Con la disposición de la locomotora del Libano, colocando las ruedas boggie atrás, se consigue obtener una fuerza de tracción constante. El carbon i agua estan colocados sobre estas ruedas acopladas, no produciendo ningún efecto sobre la adhesión. La locomotora del Libano dispone de un peso constante para la adhesión de 34 toneladas, lo que equivale a una fuerza de tracción de 5,700.

Las ruedas dentadas estan colocadas entre los dos primeros ejes de las ruedas de simple adhesión. Los cilindros de la cremallera traspasan su movimiento al eje de las ruedas cremallera de mas atrás. El vapor perdido que sale de los cuatro cilindros se junta en un solo soplete.

Cada locomotora tiene los siguientes frenos:

Cada par de cilindros se convierte en las pendientes en un freno de aire comprimido. Con estos cilindros se regulariza la velocidad en las pendientes.

Cada locomotora tiene un freno de tornillo i friccion, que obra directamente sobre las ruedas de adhesión por medio de chocos de fierro.

Otra palanca obra sobre rodillos colocados simétricamente a ambos lados de las ruedas dentadas.

Todos los carros estan dotados de frenos automáticos.

La locomotora tira todos los trenes, no los empuja.

El tope es sentado, con cadena i gancho a cada lado para la traccion.

Las dimensiones de la locomotora cremallera son:

Superficie de parrilla.....	1,63 ^m
Id. caldeada.....	95,80 »
Largo de los tubos.....	30 00 ^{mm}
Presion del vapor en el caldero.	11 Atm.

<i>Correspondiente a la simple adhesión:</i>		<i>A la cremallera</i>	
Diámetro de cilindro...	380 ^{mm}	Diámetro de cilindro...	380 ^{mm}
Golpe piston.....	500 »	Golpe de piston.....	450 »
Diámetro de ruedas acopladas.....	900 »	Diámetro de ruedas dentadas.....	688 »
Id. id. boggie.....	750 »	Comparticion de dientes.....	120 »
Diámetro entre ruedas acopladas.....	3000 »	Distancia entre ejes...	939 »
Id. total entre ruedas.	5250 »		

Peso de la máquina vacía...	33,000 Kgs.
Agua en el estanque.....	5,000 »
Id. en caldero.....	3,200 »
Carbon.....	2,500 »
Accesorios.....	300 »

Peso máximo en estado de servicio.....	44,000	Kgs.
Peso que sirve para la adhesión	34,000	»
Fuerza de tracción, proveniente de la ad- hesión	5,000	»
Id. id. id. i de la cremallera.....	10,000	»

De las locomotoras se exigía:

Tracción de un tren de 100 toneladas de peso con simple adhesión en ramplas hasta 25‰, i con adhesión i cremallera en pendientes hasta de 60‰; respectivamente de 80 toneladas en gradientes de 70‰,—velocidad mínima 9 Km. por hora.

Tenemos la

Resistencia de fricción de la locom.^a = 12 Kg. por tons. de peso.

» » » del convoi... = 6 » » » » »

Resistencia proveniente de la gra-

diente en..... 25‰ = 25 Kg. » » »

Id. id. id. id. en..... 60‰ = 60 » » » »

entonces obtendremos, para pendientes hasta 25‰.

Fuerza de tracción que absorbe

la locomotora para su propio

movimiento = 44 (12+25) = 1,628 Kgs.

Id. Id. para tirar el tren = 100 (6+25) = 3,100 »

Se necesita, pues, un total de fuerza de tracción.... 4,728 »

El coeficiente de adhesión es en este caso, siendo el peso de la locomotora=34 toneladas, de 1/7,2.

Para gradientes de 60‰ tenemos:

Fuerza de tracción para mover la locomotora—44(12+60)=3.168 Kg.

Id. id. id. el tren =100(6+60)=6,600 »

Se necesita una fuerza de tracción..... =9,768 Kg.
tocando la mitad a la cremallera, la mitad a la adhesión.

La locomotora nos da, con una presión de vapor en el caldero de 12 Atm., i con una presión media del vapor en los ci

lindros de 6,5 kilogramos (esta presión corresponde al volumen del cilindro igual a 35%).

$$\text{Fuerza de tracción } t = \frac{p \cdot g \cdot d^2}{D}$$

En esta fórmula significa:

	Adhesion	Cremallera
p.=Presión media del vapor.....	6,5	6,5
g.=golpe del piston.....	50	45
d.=diámetro del cilindro.....	38	38
D.=Id. de las ruedas acopladas...	90	68,6

Haciendo la operación obtenemos:

Fuerza de tracción en los cilindros de adhesión = 5,200 Kg.

Id. id. id. id. de cremallera = 6,100 id.

Total..... = 11,300 Kg.

La fuerza de tracción exigida en líneas de simple adhesión es = 4,728 kilogramos, i hai disponible 5,200 kilogramos; en líneas de cremallera es = 9,768 kilogramos, i hai disponible 11,300 kilogramos.

Una fuerza de tracción de 9,768 kilogramos ejercida con una velocidad de 9 kilómetros (2,5 m. por segundo), equivale a

$$\frac{9,768 \times 2,5}{75} = 325 \text{ fuerzas de caballo}$$

lo que da 3,4 caballos por m² de superficie caldeada.

En las pruebas hechas en Diciembre de 1894 se arrastró un peso mayor que el prescrito en las gradientes máximas con 12 kilómetros de velocidad, lo que corresponde a un trabajo de 440 caballos, o sea 10 caballos por tonelada de peso de la locomotora i 4,5 caballos por m² de superficie caldeada.

Al entrar i salir de trechos con cremallera se reduce la velocidad del tren a 10 kilómetros. Como 30 metros antes de

entrar a la cremallera se tienen que poner en movimiento las ruedas dentadas para facilitar el engranaje.

Tambien 30 metros ántes de salir de la cremallera se usa la precaucion de cerrar el vapor que pone en movimiento las ruedas dentadas.

EQUIPO

Los carros de pasajeros de 1.^a i 2.^a clase i todos los carros de carga tienen cuatro ruedas. Los carros de 3.^a clase tienen seis ruedas; el eje central tiene movimiento radial, sistema Rechter. Todos los carros tienen palanca de tornillo i freno automático.

Los carros de pasajeros contienen 12 asientos de 1.^a, i 16 de 2.^a; su peso es de 8,6 toneladas.

Los carros de 3.^a contienen 50 asientos i pesan 8,5 toneladas.

Los carros de carga pesan 4,9 a 5,9 toneladas, i tienen una capacidad de 10 toneladas.

GASTOS DE CONSTRUCCION

La linea fué construida en «Regie co-intéressée» por el precio máximo de 17 millones de francos. Su costo efectivo fué de 14 millones, de manera que la Compañia tuvo que desembolsar

$$14 + \frac{17-14}{2} = 15\frac{1}{2} \text{ millones de frs., o sea, en término medio } 106 \text{ mil}$$

600 francos por kilómetro (igual a \$ 21,200 oro).

ESPLOTACION

En la linea de simple adhesion la velocidad varia entre 30 i 35 kilómetros; en la cremallera entre 9 i 11 kilómetros. El viaje Beirut-Damasco se hace en 12 horas.

Segun el movimiento habido en el primer semestre de 1896, se puede calcular un total por año de 150,000 pasajeros i 80,000 toneladas de carga.

La tarifa que rije es:

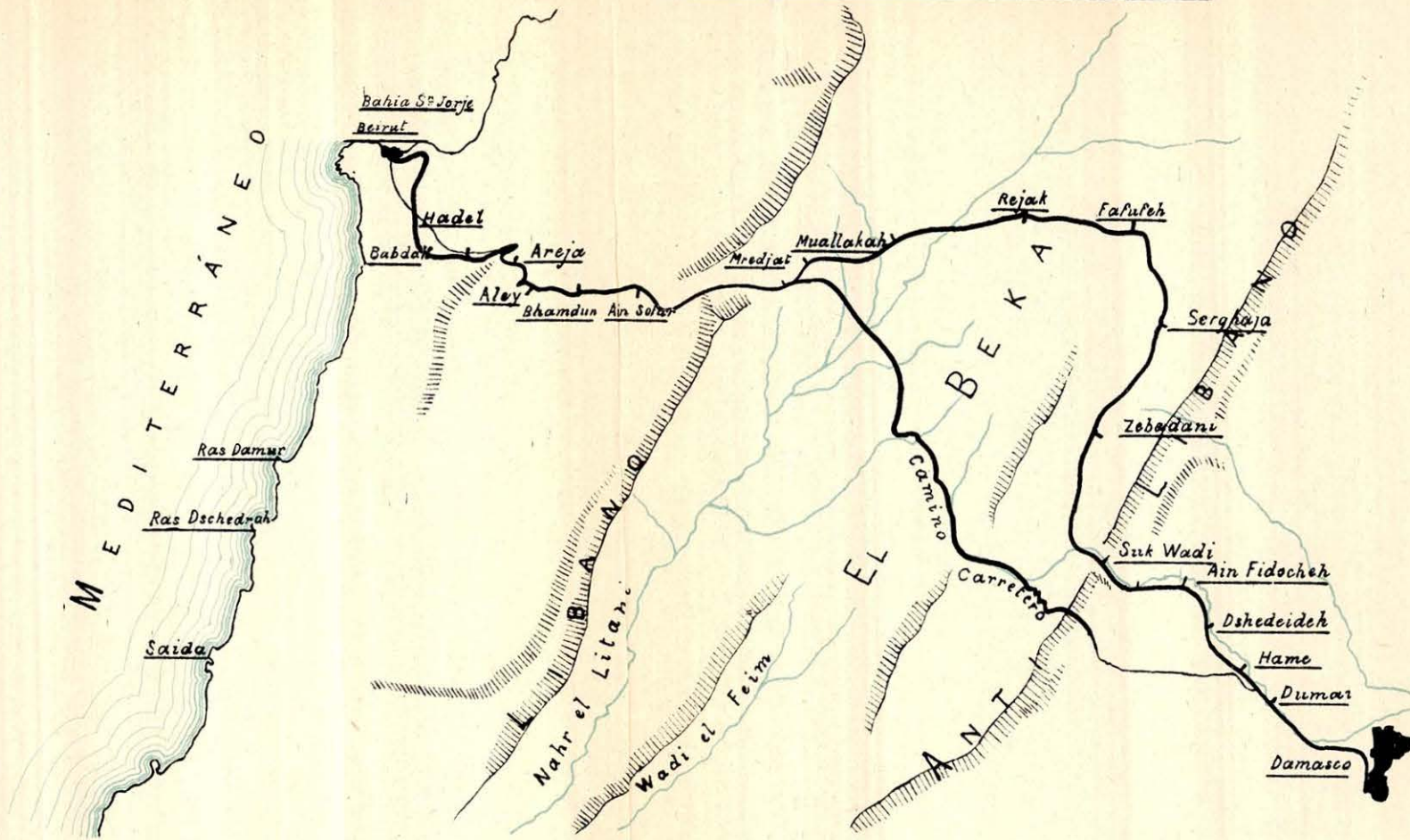
Para pasajeros de 1.^a clase i por kilómetro = 0,170 francos

Id. id. 2.^a id. id. = 0,115 id.

Id. id. 3.^a id. id. = 0,050 id.

Para carga por tonelada id. = 0,200 id.

Ferrocarril BEIRUT—DAMASCO.

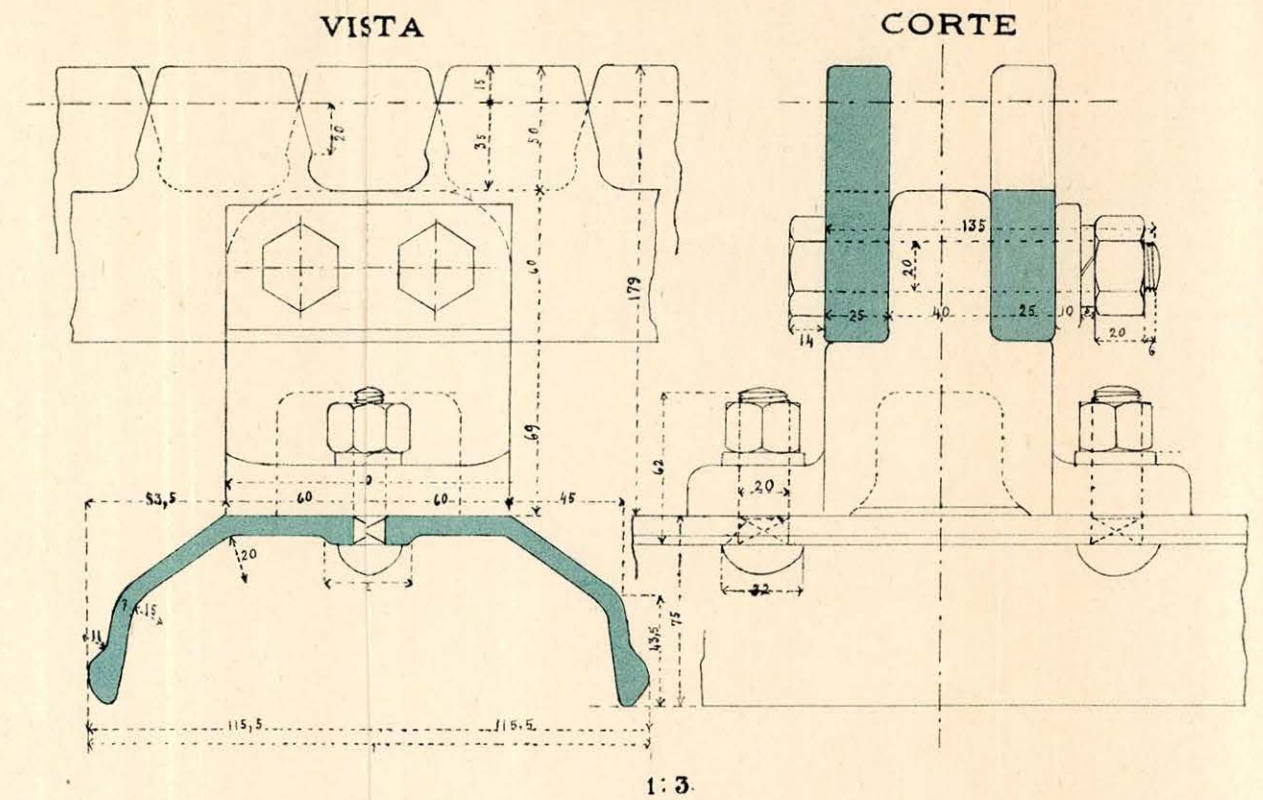


TRAZADO GENERAL

ESCALA 1: 500.000

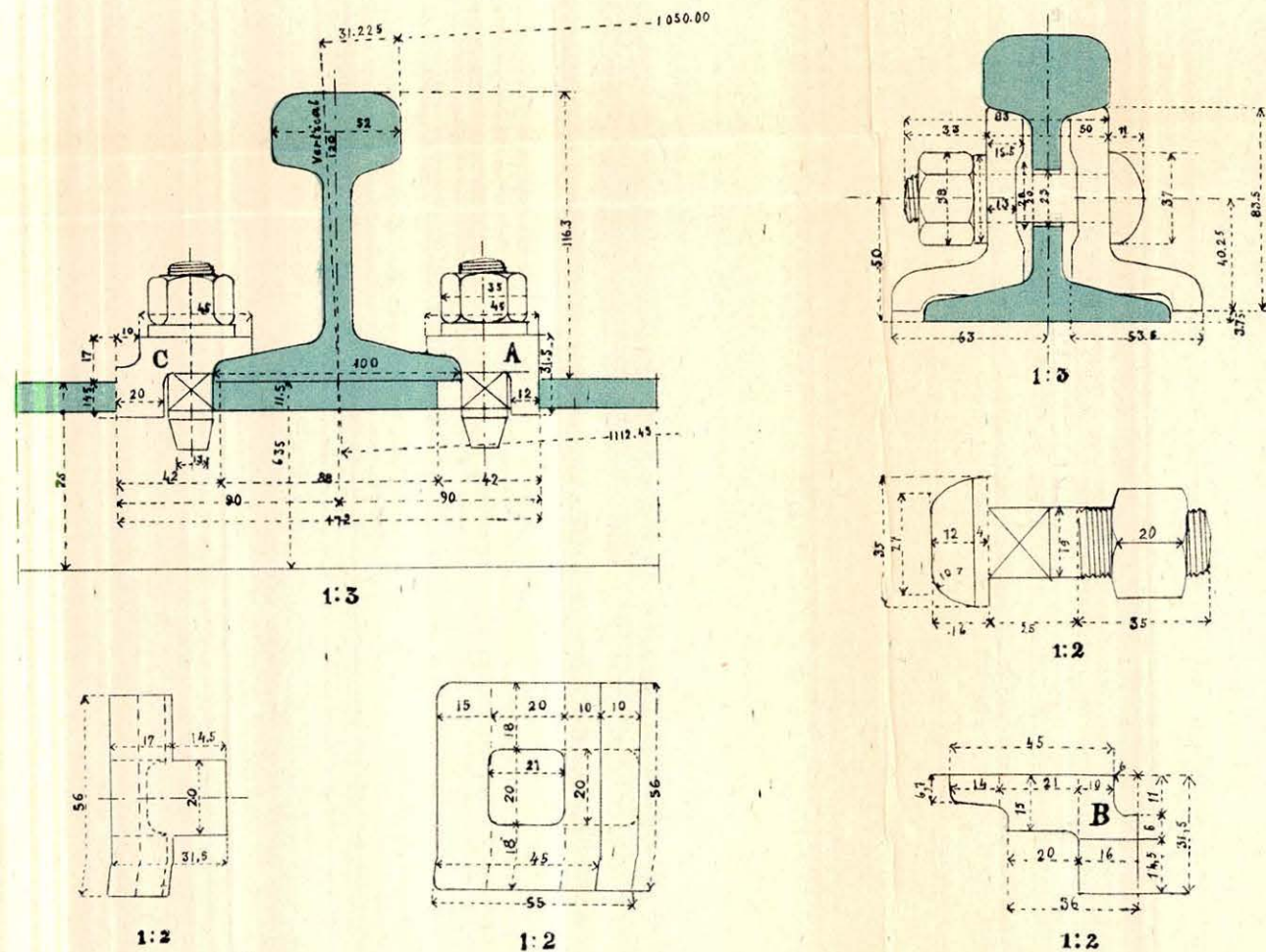
BEIRUT—DAMASCO. SUPERSTRUCTURA.

CREMALLERA. Sistema R. Abt.

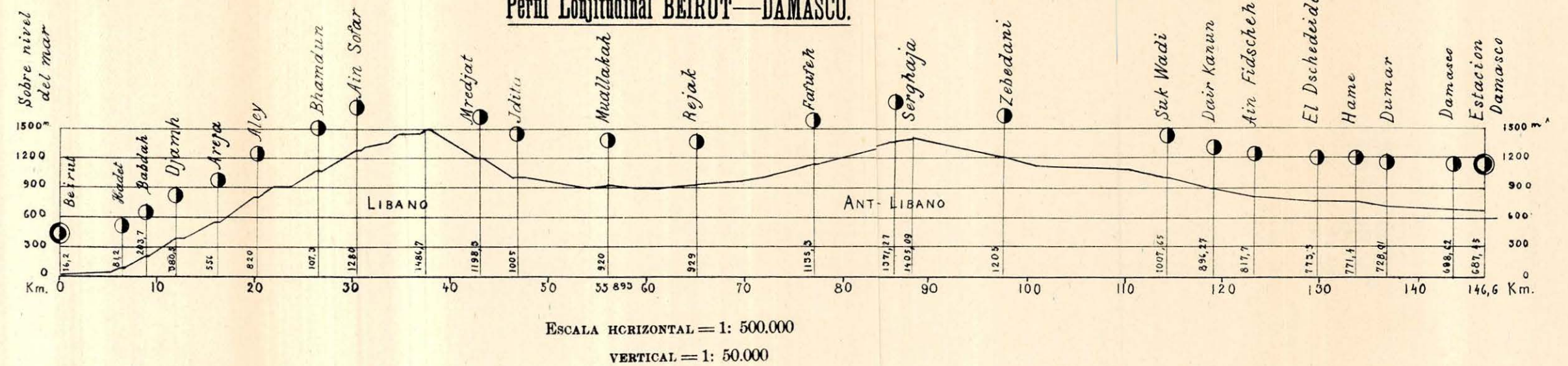


DURMIENTE

BEIRUT—DAMASCO. SUPERSTRUCTURA.



Perfil Longitudinal BEIRUT—DAMASCO.



ESCALA HORIZONTAL = 1: 500.000

VERTICAL = 1: 50.000