

X **PROYECTO DE LINEA FERREA**
DE LA MAGDALENA A GUAYRAPUNGO

TESIS

presentada para optar el grado de Ingenieros Civiles, por los señores
X P. R. Pinto Guzmán, Sergio E. Orejuela y Francisco Ramos E.

Especificación de los trabajos realizados por cada uno
de los autores

Reconocimiento con barómetro y podómetro

Observaciones del un podómetro.....	Sr. Pinto.
„ del otro „	„ Orejuela.
„ del barómetro.....	„ Ramos.
Curva barométrica y cálculos.....	„ Pinto.

Reconocimiento con tránsito y estadía

Trabajo con tránsito.....	Todos alter-
	nativamente.
Cálculos.....	Srs. Pinto y
	Orejuela.

Sumas de alturas y distancias reducidas..	Sr. Ramos.
Plano de reconocimiento; escala 1 : 10.000	Srs. Pinto y Orejuela.
Perfil correspondiente a este plano.....	Los mismos.
Consideraciones y estudios para adoptar la gradiente.....	”

Línea preliminar

Al tránsito.....	Srs. Pinto y Orejuela.
Al nivel.....	Sr. Ramos.
Dibujo de la preliminar.....	Srs. Pinto y Orejuela.
Plano escala 1 : 2,000 [Original].....	Los mismos.



Todos alternativamente.	
Dibujo de la topografía.....	Srs. Pinto y Orejuela.
Dictado.....	Sr. Ramos.

Perfil preliminar

Original.....	Srs. Pinto y Orejuela.
Copia.....	Sr. Ramos.

Localización

En el papel; cálculos y dibujo.....	Srs. Pinto y Orejuela.
Cálculo de deflexiones.....	Sr. Ramos.
Perfil de la localización.....	Sr. Orejuela.
Curvas verticales.....	Sr. Pinto.
En el terreno: al tránsito.....	Srs. Pinto y Orejuela.
” ” Al nivel.....	Sr. Ramos.
Copia presentada del plano 1 : 2000.....	Sr. Orejuela.

Secciones transversales y cálculos del
movimiento de tierras

<i>Lamina</i>	6.—	Estudio, cálculos y dibujo . .	Sr. Pinto.
„	7.—	„ „ „ - -	„
„	8.—	„ „ „ - -	„
„	9.—	„ „ „ - -	„
„	10.—	„ „ „ - -	„
„	11.—	„ „ „ - -	„
„	12.—	„ „ „ - -	„
„	13.—	„ „ „ - -	„
„	14.—	„ „ „ - -	Sr. Orejuela.
„	15.—	„ „ „ - -	„

Libros presentados

[Copia de los originales]

De tránsito, nivel y secciones	Srs. Ramos y Orejuela.
Informe y presupuesto de la obra y su ex- plotación	Sr. Pinto.
Títulos de las hojas presentadas	Sr. Orejuela.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FUNDADA EN 1865
QUITO
AREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL



Lista de los planos y documentos presentados (1)

- 1 Plano general.—Escala 1 : 10000.
- 2 Plano general de la localización.—Escala 1 : 2000.
- 3 Perfil longitudinal.—Escala 1 : 10000 y 1 : 1000.
- 4 Perfil de la línea preliminar.—Escala 1 : 2000 y 1 : 200.
- 5 Perfil de la vía localizada.—Escala 1 : 2000 y 1 : 200.
- 6 Tipos de las secciones transversales.—Escala 1 : 50.
- 7 Tipo de alcantarilla.—Escala 1 : 50.

[1] Por dificultades insuperables relacionadas con el costo de la edición de los planos y la extensión de las libretas, se dan a luz solamente el estudio general y el plano de localización, marcado con el N° 2.

- 8 Plano detallado de la estación de la Magdalena.—Escala 1 : 100.
- 9 Plano detallado de la estación de Guayrapungo.—Escala 1 : 100.
- 10 Proyecto del edificio para las estaciones.—Escala 1 : 50.
- 11 Proyecto de túnel.—Escala 1 : 50.
- 12 Material de la vía.—Escala : tamaño natural.
- 13 Tipo de cambio de vía.—Escala 1 : 50.
- 14 Tubo para proveer de agua a las locomotoras.—Escala 1 : 50.
- 15 Tipo de los planos de derecho de vía.—Escala 1 : 2000.
- 16 Libretas de campo.—Tránsito, 3
- 17 " " " Nivel, 3
- 18 " " " Secciones transversales y volúmenes, 1
- 19 Informe de la Comisión.
- 20 Presupuesto general de la obra y balance de su explotación.

ESTUDIOS

ÁREA HISTÓRICA

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Estudio de reconocimiento con el barómetro y el podómetro.—En la libreta "Transit I" hemos anotado las observaciones hechas en el primer reconocimiento. De ellas se dedujo, tomando las medianas, que, la distancia recorrida desde la plaza de la Magdalena hasta Guayrapungo, siguiendo el camino existente, había sido al rededor de 9 Km., y las elevaciones respectivas de la Magdalena y Guayrapungo eran 2816 y 3268 metros sobre el nivel del mar, respectivamente; advirtiendo que al hacer la observación barométrica en Guayrapungo había depresión atmosférica muy notable. La diferencia de nivel era, pues, 441 metros, es decir que la gradiente media uniforme del camino debería ser 441 : 90 igual 5% más o menos.

Estudio de reconocimiento con tránsito y estadia.—Para hacer un levantamiento rápido y tener datos precisos para trazar la preliminar y determinar las alturas

y gradientes exactas, se procedió a trazar una poligonal con tránsito y estadía, tomando topografía a los dos lados de ella. Este reconocimiento nos sirvió de base para trazar el plano general de escala 1 : 10000, completado con el plano de Quito, debidamente reducido y el plano de la Magdalena y alrededores levantado con brújula, cadena y nivel de mano. Esta operación nos permitió conocer la verdadera distancia de la poligonal seguida y la diferencia de nivel exacta entre las estaciones de origen y extrema. Comenzamos estableciendo la primera estación en la Escuela de Ingenieros de la Armada Nacional, cuya altura estaba bien determinada por la serie de observaciones barométricas, a las cuales se les hizo las correcciones respectivas de hora, y se las relacionó con la altura exacta del Observatorio Astronómico de Quito.

La elevación de la estación O es 2816 metros sobre el nivel del mar y la de la estación 36 en Guayrapungo 3192.58, cuya diferencia es 376,58 m. y la distancia total reducida 6700 m., lo que da una gradiente media de 5.6°/o.

Con una gradiente de esta naturaleza se reduce considerablemente la fuerza de tracción de la locomotora y como no se podía pensar en tracción eléctrica por la pequeña longitud de la línea, que no permite el establecimiento de una planta eléctrica, además de que los gastos de explotación por Km. serían mucho mayores, debíamos buscar un desarrollo que nos permitiera disminuir la gradiente a una cifra aceptable.

El reconocimiento con tránsito nos indicó claramente que debíamos, desde el principio, subir en la pequeña cordillera occidental todo lo que fuera posible, tratando de ganar cuanto antes la mayor altura que el terreno permitiese. Una nueva inspección de la región, nos hizo conocer que el único lugar en donde se podía encontrar un desarrollo aceptable era en la sección de "La Colmena", "Panecillo" y "San Diego". En este concepto, y para conocer la altura del cuello de "San Diego", en su parte más practicable, se llevó la poligonal desde la estación 1 hasta la 41, que dió por resultado

una distancia de 1124 m. y una diferencia de altura de 63.48 m., siendo la cota del cuello 2882.98 m., lo que daba una gradiente aproximada de 6070. De aquí dedujimos que para alcanzar la altura 2882,98, partiendo de la Escuela de Ingenieros de la Armada Nacional, era necesario dar la vuelta el "Panecillo" con una gradiente de 2.6^o/100. Se trazó en efecto una poligonal desde la Escuela hasta la estación 41+45.10 que resultó 30 m más alta del punto que deseábamos alcanzar en el cuello. Así, pues, supuesta la necesidad de alcanzar la cota 2882.98 en el sitio indicado, o había que reducir la gradiente en esta parte para luego seguir con gradiente más fuerte hacia Guayrapungo o adoptar una gradiente media uniforme en toda la línea. Esta última resolución fue aceptada, considerando que una vez situados en el cuello (2882.98), necesitábamos vencer 309,60 m. para alcanzar la altura de Guayrapungo (3192), para lo cual, con una gradiente compensada de 3.9070 o sea una gradiente media de 3.5070, necesitábamos 8800 metros de desarrollo, que podíamos conseguir en esta forma: 6700 m. de la poligonal 1 a 33; 1600 m. desde el cuello hasta el lugar de la estación de la Magdalena; y 500 m. en las curvas del terreno no tomadas en cuenta al medir la poligonal total.

En este estudio de reconocimiento con tránsito y estadía anotamos en el terreno los ángulos azimutales, los verticales y las lecturas de la mira, para luego, en la oficina hacer todas las reducciones de distancia y diferencia de alturas, valiéndonos de las tablas taquimétricas de Mr. F. Gascue—Ingeniero de Minas, que facilitaron nuestro trabajo.

LINEA PRELIMINAR

Aceptado como punto obligado el de "San Diego" empezamos desde allí la preliminar hacia la Magdalena con la gradiente 3.5070, adoptada [bajando] hasta llegar a la estación 20+93.20, situada en la quinta de la familia Pólit, lugar muy adecuado para estación terminal, muy cercano a la plaza de la Magdalena y con acceso al

camino principal que va de Quito a Chillogallo, por "San Diego". La elevación de ese punto es 2807 m.

Trazada la preliminar en esta primera parte del terreno y dejando estacas en todos los puntos necesarios, después de tomar las cotas del terreno cada 20 m. con el nivel "Egault" y anotar, tanto en las libretas, como en el perfil, regresamos a "San Diego" al punto marcado $0+00$ en donde establecimos la ecuación $0+00$ igual $20+93.20$, para seguir subiendo hacia Guayrapungo, con la misma gradiente de 3.5% hasta el fin de la línea, que es la estación $116+60.80$ cuya elevación es 3192.58.

En este trabajo se ha puesto un cuidado notable a fin de evitar toda clase de errores, así en distancia como en los ángulos y las alturas.

Las distancias se midieron con una cadena de 20 m. teniéndola siempre horizontal y haciendo la coincidencia de los extremos de cada medida con la plomada. Los ángulos se comprabaron cada vez haciendo la lectura inversa por medio del ángulo doble. En cada vértice o punto necesario se dejaron pequeñas estacas enterradas, con tachuelas en el punto de coincidencia del centro del tránsito por medio de la plomada. Al lado de cada una de estas estacas se clavaron otras de mayor longitud, bien visibles y con el número correspondiente de la estación. La distancia entre dos estaciones próximas es de veinte metros.

TOPOGRAFIA

Cuando toda la preliminar estaba trazada en el terreno y en el papel, procedimos a levantar la topografía, empleando los métodos siguientes: 1º Con nivel Egault y distancias horizontales iguales. A cada lado de las estaciones de veinte metros y en dirección perpendicular a la alineación de ellas, se trazaron líneas en las que se tomaron las alturas de cada diez metros; de este modo obtuvimos muchos puntos por medio de los cuales se trazaron con grande exactitud las curvas de nivel. Este método se empleó en el sitio destinado para estación de la Magdalena, con una equidistancia de

un metro de altura entre las líneas de nivel.—2º con nivel de mano y cinta. Conocida la altura de cada estación, se buscaron las distancias a las cuales se hallaban las curvas de nivel de alturas completas y pares a cada lado de la alineación y perpendicularmente a ella; en los ángulos estas distancias se midieron en su bisectriz. La equidistancia de altura en este caso ha sido de dos metros. Este sistema se ha empleado en casi toda la extensión de la línea.—3º Con el ángulo dependiente. En las partes en que el terreno tenía una gradiente uniforme se ha medido su ángulo de pendiente, por medio del cual se han trazado las curvas de nivel. Semejante manera de poner topografía se ha empleado en pocas partes y a alguna distancia de las alineaciones.—4º Con tránsito y estadía. Hemos obtenido una serie de puntos de altura conocida, entre los cuales se interpolan las curvas. Así se hizo en el estudio de reconocimiento con tránsito. [Lámina 1]

LOCALIZACION

Clase de terrenos por los que atraviesa la línea.— En general se encuentra una capa de tierra vegetal y después tierra dura formada de arcilla compacta o de grava; existen también pequeños trayectos de conglomeratos más o menos descompuestos. Rara vez se encuentra rocas duras que son formadas de variedades de andesita y especies de basalto. Al apreciar el costo de construcción se indican en cada kilómetro las partes proporcionales y aproximadas de cada clase de materiales que se hallan en la línea.

Hay una cantera en el sitio denominado "Román", de donde se puede obtener considerable cantidad de piedra de buena clase. El valor de los ladrillos será relativamente bajo, por cuanto existen muchas fábricas de este material en las cercanías de la obra.

La madera para traviesas es muy escasa, pues, en esta región sólo hay pequeños bosques de eucaliptos y unos pocos árboles de capulí. Hacia el sur del valle de

Lloa, en el Atacaso y Saloya si se encuentran maderas de buena calidad.

Minas para extraer balasto existen dos : una de arena cerca de "Chilibulo" y otra de cascajo y arena en una de las quebradas que atraviesa la línea. Además de las fábricas de ladrillos y tejas se puede obtener alguna cantidad de fragmentos de arcilla cocida.

Descripción general de la vía localizada.—(Lámina 2).—Partiendo de la estación terminal de la Magdalena, situada en la quinta de la familia Pólit, se dirige hacia el norte cruzando el camino público en la estación 5+65, luego sigue bordeando éste para después entrar en la concha que forma "La Colmena" hasta llegar a San Diego, en donde hace una curva cuyo arco es de $227^{\circ} 30'$ y toma la dirección SO., volviendo a pasar por las mismas quebradas del principio pero en su parte alta. Atraviesa los sitios denominados "Román", "Tarma", "Guayraloma", "San José" y "Mulata Pamba"—en donde hay tres túneles; sigue por "Chilibulo" en las faldas del "Lunguy", pasa por "El Colegio" y llega finalmente a "Guayrapungo".

El terreno es sumamente accidentado y hay necesidad de atravesar muchas quebradas, algunas de las cuales son muy profundas.

Para el plano de localización se ha empleado la escala 1 : 2.000.

Lo primero que debía localizarse era la curva cerrada de la estación terminal de la Magdalena. Como el terreno elegido para ella tiene una pendiente de ocho por ciento y la curva debía ser horizontal, fue preciso dividir el desnivel en dos partes más o menos iguales, la una en corte y la otra en relleno. Habriase encontrado mejor sitio para la estación en un área de terreno plano situado al sur de éste, pero, para llegar a él, había que franquear una gran quebrada, en la cual debía hacerse un gasto muy crecido resultando preferible en este caso el sitio elegido.

La solución indicada facilitaba al mismo tiempo, el paso a nivel del camino situado a la salida de la curva cerrada. Naturalmente hay que hacer una pequeña

modificación en el camino actual sin que sufra ningún desperfecto, pues la línea férrea pasa unos 0, 80 m. más baja que el nivel actual del camino. Esta modificación se haría a poco costo aprovechando el desnivel longitudinal del citado camino y sin que este sufra nada en sus condiciones de servicio y seguridad.

El punto de origen de la vía para el kilometraje, es el punto de unión de las dos ramas de la curva y está marcado en la localización con el número 0+00. Después de dar la vuelta toda la curva se encuentra el mismo punto marcado con el número 5+15.87, de manera que se obtiene la ecuación $0+00=5+15.87$, punto que en ambos casos tiene la misma cota, que es 2819 m.

Como antes hemos dicho, la gradiente adoptada es 3.90% en las tangentes y compensada en las curvas. Esta compensación se ha hecho según la expresión: compensación igual $\frac{460}{R}$ que dá en nuestro caso los siguientes resultados: (Tabla Original)

Grados de las curvas	Radios en metros	Compensación 460 : R. m.	Gradientes resultantes
1	1146	.04 m.	3.86 m. por %
2	573	.08	3.82
3	382	.12	3.78
4	286	.16	3.74
5	229	.20	3.70
6	191	.24	3.66
7	164	.28	3.62
8	143	.32	3.58
9	127	.36	3.54
10	115	.40	3.50
11	104	.44	3.46
12	96	.48	3.42
13	88	.52	3.38
14	82	.56	3.34
15	77	.60	3.30
16	72	.64	3.26
17	68	.68	3.22
18	64	.72	3.18



Estas gradientes han sido disminuídas solamente en casos excepcionales, pero en ningún caso se las ha superado.

En la tag. de 0+53 a 1+20 y en la de 4+00 a 4+50 se han empleado las gradientes 3.14 y 3.50 respectivamente, para obtener la misma altura en el punto de la ecuación $0+00=5+15.87$. y para atravesar el camino en buenas condiciones.

A la entrada de los túneles en curva, y en los túneles mismos, [Km. 7] se han empleado las gradientes de 2.5, 2., y 1 $\frac{0}{0}$, por cuanto la adhesión de las ruedas a los carriles es menor por la humedad de ellos y para evitar cualquier accidente en el tráfico.

En Guayrapungo va también la vía a nivel en toda la extensión de la "Y".

Mínimo radio. El menor radio empleado en nuestra línea es de 64 metros que corresponde a la curva métrica de 18°. la cual se ha usado en casos especiales, cuando su empleo ha significado gran economía. Se podía haber empleado también en los túneles del Km. 6 y en algunos grandes cortes, pero en ellos la economía habría sido pequeña; y en los túneles nos ha parecido atrevido su empleo, pues una catástrofe que pudiera ser pequeña en otra parte, sería allí desastrosa. En las curvas de radio mínimo, es decir en las de 18°, pondremos siempre contracarriles.

Se pueden hacer algunas observaciones acerca de los desbanques o rellenos que se crea pudieran ser disminuídos, pero argüiremos que la seguridad de la línea nos ha obligado muchas veces a proyectarlos en la forma que proponemos. Y en todo caso, allí donde verdaderamente se pueda hacer alguna economía, la haremos con gusto en la construcción.

En cuanto a las tangentes, se ha procurado que su longitud no baje de 40 metros; hay sin embargo un caso único e inevitable en que se emplea una de 18 metros y otras pocas que varían entre 30 y 21 metros.

Por adaptarse a la forma del terreno se ha usado una curva compuesta, comprendida entre las estaciones

6+90 y 8+45 y otra para un desvío en la estación de La Magdalena.

Método usado para la localización.—Para la localización en el papel se ha empleado el método siguiente: se ha puesto primero en el plano y por distancias parciales, la línea de gradiente de 3.5%, buscando luego las alineaciones rectas que sigan su dirección y uniéndolas entre sí con curvas que se adapten de la mejor manera a la misma línea de gradientes. Después se ha visto en el perfil la mejor compensación que se podía obtener entre los cortes y rellenos y cuando varios tanteos habían sido hechos, se elegían los que mejores resultados habían dado. En seguida se ha procedido al cálculo del grado de las curvas, del ángulo comprendido entre los radios de ellas, a la determinación de su longitud y de su tangente trigonométrica y finalmente se han marcado los puntos donde las curvas comienzan (P. C.) y donde ellas terminan (P. T.). Para la determinación de las cotas y gradientes, primero se han redondeado los números de los P. C. y P. T. atrasándoles los primeros y adelantándoles los últimos una pequeña distancia—menor de 3 metros y añadiendo a cada una de las elevaciones anteriores, la diferencia de altura que a cada distancia le corresponde según su gradiente respectiva.

En el perfil de la localización [Lámina 5] se han puesto en rojo las líneas de gradiente de la vía; en negro las cotas del terreno; en verde los cortes y en azul los rellenos. Se ha empleado la escala horizontal de 1:2000 y la vertical de 1:200. Se han señalado las distancias y las elevaciones, lo mismo que las curvas con sus grados, ángulos, longitudes, tangentes y gradientes.—En cada estación de 20 metros, además de su cota, se ha calculado la altura central de corte o relleno.

Para la localización en el terreno se ha empleado el método de las deflexiones, para lo cual se han calculado las correspondientes a cada curva. En ocasiones se ha localizado también mediante las ordenadas desde las tangentes y las ordenadas desde la cuerda mayor y en otras ha habido que resolver problemas especiales por las dificultades que se han presentado.

Curvas verticales.—Para evitar la transición brusca de un tramo horizontal a otro en pendiente, se ha hecho uso de curvas verticales que hacen insensible el cambio de gradiente. En la línea se encuentran tres curvas de esta clase en las estaciones 1+20, 4+00 y 110+66. Su cálculo puede verse en la libreta "Transit" 3". Generalmente a estas curvas no se las tiene en cuenta sino en la colocación del material de superestructura, pero en nuestro caso es necesario tomarles en cuenta en el terraplenado mismo, ya que el cambio de valor de las cotas es muy apreciable.

Puntos críticos.—Especial atención han merecido los sitios de difícil paso, como son las quebradas, las narices de pequeño radios y los puntos en que se hacía indispensable el túnel.

Para atrevesar las quebradas hemos optado, sin vacilación, [excepto en las de las estaciones 36+60, 37+60 y 41+02], poner alcantarillas en todas, pues la comparación del valor de un puente metálico con sus estribos de mampostería y el valor de una alcantarilla y su relleno, nos ha hecho decidir por las alcantarillas. Teniendo en cuenta, además, que al lado de cada quebrada existen cortes con cuyo material se pueden hacer los rellenos de ellas.

En el caso de las tres quebradas apuntadas, parecía preferible poner puentes metálicos para evitar las alcantarillas de gran longitud, pero la consideración de que los estribos debían ser lo bastante altos para que se asienten en terreno firme, y que en cambio se podían emplear con las alcantarillas muros laterales de contención con un talud apropiado, para disminuir la longitud de las alcantarillas, nos hizo también decidir por estas últimas.

En apoyo de nuestra opinión copiamos las cifras que constan en el informe del Superintendente del "Ferrocarril al Curaray" del 31 de Mayo de 1915, como valor del puente de acero de 21 metros de largo, sobre el río "Pachanlica", con bastiones de piedra de 12 metros de alto:

Excavación para los cimientos del puente	\$ 436,42
Valor de los muros.....	„ 42.890,54 ½
	<hr/>
Total....	\$ 43.326,96 ½

Y el puente metálico no costaba en New York sino \$ 980—oro!—según informes del Sr. Don Héctor Dueñas, Ex-Director de Obras públicas.

En cuanto al paso de la estación 62+32, no había sino dos soluciones: o un puente de acero de 100 metros de largo, por lo menos, con bastiones de piedra de más de 10 metros de altura o dos túneles de 150 metros de longitud c/u. con una alcantarilla y relleno al medio—entre los dos—. El puente metálico, costaría en suces, según la fórmula empleada en Alemania $\{8L+200\}$ L, siendo L en nuestro caso igual a 100; tendríamos: $\{8 \times 100 + 200\} 100 = \$ 100.000$ y los estribos y muros en ala por lo menos \$ 40.000, lo que de un total de \$ 140.000, debiendo tener en cuenta que el puente debiera de ser en curva de 18° .—En cambio los túneles, teniendo una longitud de 300 metros entre los dos y aceptando como valor del metro lineal \$ 300.—precio corriente en el Ecuador—costarían \$ 90.000 más unos \$ 5.000 para la alcantarilla y relleno y para pagar la diferencia de costo en la superestructura, por su mayor longitud hacen \$ 95.000. La diferencia de \$ 45.000 es muy apreciable.

Ya se puede pensar además en las dificultades para la colocación del puente de 100 metros y en curva de 18° ! Es claro que la construcción de un túnel está también sujeta a muchas contingencias, más aún siendo éste también en curva.

Este paso es indudablemente el más difícil y costoso y por desgracia inevitable.—Consideraciones análogas a las que hemos hecho en los párrafos precedentes, podríamos hacer respecto del paso de la estación 73+70 y adelante.

Infraestructura

Explanación.—[Lámina 6].—Hemos adoptado que la explanación tenga 4 metros en los rellenos y 5 en los cortes.

Cunetas.—[Lámina 6].—Estas tienen casi siempre la forma trapezoidal y las hemos ideado de diferentes dimensiones, según la clase de terreno.—En tierra dura y de dureza media, tendrán 0.30 de base mayor por 0.25 de altura. En roca, 0.20×0.20 y en los túneles, 0.30×0.30.—Estas dimensiones se darán consultando en cada caso la cantidad de agua que puede afluir a las cunetas.

Cunetas de coronación.—Siempre que en los cortes en ladera haya necesidad de dar salida a las aguas que vienen de la parte alta, se construirán acequias o cunetas encima del talud, para que conduzcan las aguas al desagüe más próximo y no sufra perjuicio la vía. Las dimensiones de ellas variarán con las necesidades.

Desagües.—Para dar salida a las aguas de las cunetas de la vía, se construirán desagües normales a ella, que concurren a las quebradas inmediatas.—En general, habrá un desagüe cada 100 o 200 metros y sus dimensiones estarán de acuerdo con las de las cunetas a las cuales sirven.

Taludes.—En esta cuestión seguiremos la ordenanza de la Dirección de Obras Públicas, a saber:

Cortes: En roca dura, vertical hasta 1/10

En roca suelta, 1/10 a 1/5

En cangagua, 1/4 a 1/3

En tierra dura, 1/4

En tierra suave, 1/1

En arena, 2/1

Rellenos: En general, de 1/1 a 1 1/2/1

Derecho de vía.—Se expropiará solo el área de terreno estrictamente necesaria, es decir unos pocos metros más allá de los bordes de los taludes.—Como término medio general, adoptaremos 7 metros a cada lado del eje de la vía, es decir una faja de 14 metros de ancho en toda la longitud de la línea.—Los precios varían

según la clase de terreno y su situación.—Al especificar el costo de cada Km., indicaremos el valor unitario aceptado en cada sección, y además indicaremos el costo por expropiación de edificios y otras propiedades.

Cercas.—Siempre que estas sean necesarias se las colocarán, a fin de evitar que los animales penetren a la vía. Estos se harán de setos vivos que tienen poco valor y sirven muy bien para este objeto.

Pasos de agua de riego.—En todo el recorrido hay solo dos: uno en el arco de “San Diego” y otro en Guayrapungo. El primero se lo salva con un sifón formado por tubos de 5” y el segundo por un tubo de 14” y 5 m. de longitud.

Alcantarillas.—Presentamos en la lámina 7 un modelo típico de alcantarilla de un metro de luz. Ya hemos dicho antes que para el paso de todas las quebradas emplearemos alcantarilla, excepto en las que lleven pequeño caudal de aguas, para las cuales emplearemos tubos de hierro de un diámetro apropiado en cada caso y enterrados en un lecho de mampostería, con entradas y salidas debidamente construídas, a fin de evitar filtraciones en la explanación y en la mampostería sobre la cual descansa.—El empleo de estos tubos ha dado muy buen resultado en la línea que actualmente se construye de Quito a Ibarra. Cuando la luz de un solo tubo sea insuficiente, se emplearán dos o más tubos yuxta-puestos.

Las alcantarillas para las quebradas grandes serán del mismo tipo o forma análoga a la que presentamos, con las dimensiones adecuadas en cada caso.—En ocasiones será también factible encauzar dos desagües naturales en uno solo, a fin de evitar la construcción de una alcantarilla, y hacer solamente un relleno en esa quebrada.

Cuando la alcantarilla resulte de gran longitud, por la profundidad de la quebrada, será posible disminuirla, haciendo unos muros inclinados con un talud apropiado para que sirvan de contensión a la tierra del relleno. Esta solución se ha hecho práctica en un paso difícil del ferrocarril de Sibambe a Cuenca, como hemos tenido

ocasión de ver, gracias a la amabilidad del Sr. Wulcow, Jefe de este ferrocarril y del de Quito a Ibarra. En el presupuesto detallado que hacemos de cada Km., indicamos a grandes rasgos las dimensiones de las alcantarillas y ponemos la cubicación del material de fábrica, de acuerdo con las tablas prácticas de Trautwine para este objeto.

Muros de sostenimiento.—Siempre que la pendiente del terreno no permita hacer un relleno con el talud de $1\frac{1}{2}/1$ o cuando este relleno debe extenderse demasiado se construirán muros de sostenimiento, que pueden, ser muros secos o de mampostería, con cal o cemento, según las circunstancias. Su costo está tomado en cuenta al avaluar los gastos por Km.

Túneles.—(Lámina 11).—Estos tendrán 4.80 de alto entre las cabezas de los carriles y la parte más alta del arco y 5.50 entre el piso de mampostería y el medio del arco. El ancho será de 4.20 m. en los arranques y y 3.90 entre los muros interiores al nivel de los carriles. Sus cunetas serán en piedra y tendrán 0.30×0.30 cubiertas por lozas.—En cada túnel se harán dos o tres nichos a trechos apropiados, para seguridad del personal de conservación. Como el terreno que atraviesan los túneles es de tierra dura en su mayor parte, bastará un revestimiento de 0.30 a 0.40 en el arco, siendo los muros o pies derechos un poco más espesos.—Es probable que también se encuentre una parte de roca, para cuyo desbanque se necesitarán explosivos, pero entonces no habrá necesidad de revestimiento, compensándose así el costo del metro lineal; para evitar derrumbos a las entradas, se hará en cada una una fachada, según la elevación de la lámina con muros laterales en alas, según se ve en el corte longitudinal de la misma.

Materiales.—Los materiales para las obras de fábrica serán: ladrillos cocidos, piedras labradas, piedras brutas, cal hidráulica y cemento. Para cada obra y según las circunstancias se emplearán los más adecuados

Superestructura

Ancho de la vía.—[Lámina 6].—El ancho adoptado para la vía es de 42" [1.067 m.] entre los bordes interiores de los carriles. Las razones que nos han inducido a la adopción de este ancho son las siguientes: la uniformidad de la trocha en la red ferroviaria del Ecuador, para posibles conexiones ulteriores.—2.^a No empleamos más ancha, por cuanto el servicio a que está destinada nuestra línea se satisface con la dimensión indicada.—3.^a Al adoptar una trocha más angosta la economía que se podría hacer estaría compensada con el sobreprecio del material rodante que habría que hacerlo construir expresamente para esta línea. Es cierto que en E. U. se emplea la entavía de 3 pies [0.914] y en Europa la de 1 m., pero en este caso no habría economía en la construcción y se sacrificaría la uniformidad de que hemos hablado.

Carriles.—[Lámina 12].—El tipo usado es el "Vignole" de 55 libras por yarda o sea 27.28 kgs. por metro, de una altura total de 49/64" (103.18 mm.). La longitud usual es la de 30 pies, pero se necesitaría un 10% de carriles de menor longitud, a saber de 24, 26 y 28 pies. Estas dimensiones son las indicadas por la "American Society of Civil Engineers", adoptada por "The American Railway Association" y por la "United States Steel Products Co.", que suministra el material. Antes de comprarlo, habría que hacer los ensayos de calidad y resistencia, trabajo que se le podría confiar a la "Tillsburg Testing Laboratory" de Estados Unidos.

La colocación de carriles se hará con la separación de 4 a 6 mm. de extremo a extremo, para facilitar la dilatación de temperatura que no sobrepasaría estos límites, por cuanto la variación máxima de temperatura sería de 0 á 40° centígrados. Las uniones de la una fila de carriles corresponderá aproximadamente a la mitad de los rieles de la otra, para asegurar más la resistencia de la línea.

Eclisas.—[Lámina 12].—Para el tipo de rieles aceptado, emplearemos la eclisa en ángulo [Angle Splice

Bar] de 24" (610 mm.) de longitud, de cuatro huecos—dos circulares y dos elípticos—, que tiene un peso de 28.90 libras [13.10 kgs.] el par.—Los cuatro tornillos y tuercas tienen el peso de 2.91 lbs. (1.32 kgs.), de modo que el peso total de cada unión sería de 31.81 lbs. [14.42 kgs.]

Tornillos o pernos.—[Lámina 12] *Tuercas.*—Estos deben ser de $\frac{3}{4}$ " (19 mm.) de diámetro y $3\frac{3}{4}$ " [95 mm.] de largo, con cabeza de hongo, siendo la longitud de la rosca de $1\frac{7}{8}$ " [48 mm.] y de 10 pasos por pulgada, siendo el área de la sección 0.442" cuadradas, de acuerdo con las indicaciones del "Franklin Institute of Philadelphia" en Diciembre de 1864. El hilo será con el ángulo de 60° y la tuerca será exagonal de $\frac{3}{4}$ " de altura, siendo su pequeño diámetro $1\frac{1}{4}$ " y el mayor $\frac{7}{16}$ ".

Grapas.—[Alcayatas o clavos—Railroad Spikes.] —[Lámina 12]

Sus dimensiones son $5\frac{1}{2}$ " por $\frac{9}{16}$ " o sea 140 X 14.3 mm. El número de clavos por KEG. de 200 libras [90.72 Kgs.] es de 340 más o menos y se emplean cuatro en cada durmiente.

El precio del material de la vía [Over head price] es de \$ 83.00 la tonelada en Guayaquil, más el transporte hasta Quito que es de \$ 38.00 en carros enteros (5ª clase) y 49.20 en menos de carros enteros [6ª clase] (Tarifa N° 4 de 15 de febrero de 1916 de la G. & Q. Ry. Co. A esto debemos aumentar los gastos de carga, descarga y transporte hasta el sitio de colocación, lo cual representaría unos \$ 10.00 por tonelada. De modo que consiguiendo el menor flete sería \$ 38.00 más \$ 10.00 igual \$ 48.00 por tonelada. En caso de hacer algún contrato con el Supremo Gobierno de esta República, podría conseguir la reducción al medio flete a que tiene derecho, y en este caso el transporte costaría $\frac{38}{2} + 10.00 = \$ 29.00$.

La tonelada de material metálico de la vía, costaría pues, en la obra \$ 83.00 + \$ 30.00 = \$ 113.00 cifra que podemos hacerle \$ 115.00 para pagar los gastos de miscelánea que podrían ocurrir.

Calculemos el valor del material metálico. Un Km. ≈ 3.280 pies ≈ 1093 yds. Peso $= 1093 \times 55 = 60115$ lbs. o sea 30.057 tons. Para las dos filas será $30.057 \times 2 = 60.114$ tons.

Número de uniones.—Es igual a $3.280:30 = 109.3$, digamos 110 uniones. Como el peso de cada unión es 31,81 lbs. las 110 pesarán $110 \times 31.81 = 3499$ lbs. y para las dos filas: $3.499 \times 2 = 6.998$ libras $= 3.999$ tons. es decir 3.5 tons. El peso de rieles y uniones será, pues, $60.114 + 3.5 = 63.614$ tons., digamos 65 tons. y como el valor de cada una es \$ 113, el km. de material metálico costará: $65 \times 113 = \$ 7.232$.

Cambia-vías.—(Lámina 13).—Empleamos cuatro cambia-vías de agujas [Split Switch Turnouts] en la estación de la Magdalena y tres cambia-vías automáticos [automatic switches] en la de Guayrapungo. Las dimensiones serán de acuerdo con los tipos indicados por la "A. R. E. A.". Para que se vea la colocación, distribución y detalles, presentamos en la lámina 13 el cambia-vía de la estación o-t-co y en la lámina 9 el cambia-vía automático de Guayrapungo.

Durmientes o traviesas.—Deben tener estas dimensiones: $2 \times 0.20 \times 0.15$ m. y ser de guayacán, madera negra, matasarna, balsa, cascol, arrayán y excepcionalmente de capulí. Para los cambia-vías, pueden emplearse traviesas de eucaliptos de mayores dimensiones.—El número de traviesas por Km. será de 1600 a 1700 en tangente y hasta 1800 en curva. Como término medio adoptamos 1700. Su volumen será: $2 \times 0.20 \times 0.15 \times 1.700 = 102$ m. cúbicos; como el valor de cada traviesa es de \$ 2.50, el precio de traviesas para un Km. será $1.700 \times 2.50 = \$ 4.250$.

Balasto o lastre.—Puede ser de piedra triturada, cascajo, cenizas, arena, lava, arcilla cocida, etc.—El área de la sección de vía, comprendido balasto y durmientes es $\frac{1}{2} \times 2 \times 0.40 \times 0.45 = 0.180$ más $2 \times 0.80 \times 0.50 = 0.800$; más $1.10 \times 0.40 = 0.440$; más $\frac{2}{3} \times 1.05 \times 0.05 = 0.0350$ o sea en total metros cuadrados 1.455. El volumen de un Km. será entonces: $1.455 \times 1.000 = 1.455$ metros cúbicos. De aquí, disminuirémos el volumen de

las traviesas v tendremos; $1.455 - 102 = 1.353 \text{ m}^3$. o sea 1.360 m^3 . de balasto por Km. El precio del m^3 . podemos calcularlo a \$ 1.50, de modo que el valor del kilómetro de balasto será: 2.040 sucres.

Enrielladura.—El coste de la mano de obra de la enrielladura es de \$ 600 a \$ 800, cuando el jornal es de \$ 0.75 diarios por peón. Podemos adoptar el término medio, \$ 700.

Peralte.—Por cuanto en las curvas la fuerza centrífuga tiende a hacer seguir a los vehículos la dirección de las tangentes, es necesario contrarrestarlas con la acción de la gravedad del mismo vehículo, para lo cual se eleva el carril exterior, respecto del interior. La mecánica nos da la expresión de equilibrio entre estas fuerzas, por la relación $d:e = F; P$, en donde d es el desnivel, e el ancho de la vía; F es la fuerza centrífuga y P , peso sobre

el eje. Pero $F = \frac{mv^2}{R} = \frac{P}{g} \times \frac{v^2}{R}$; luego

$$\frac{d}{e} = \frac{\frac{P}{g} \times \frac{v^2}{R}}{P} = \frac{v^2}{gR} \text{ y finalmente: } d = \frac{e v^2}{g R}$$

Los valores en nuestro caso son $e = 1.067$; $V = 30 \text{ km}$. a la hora; o sea $v = 8.36$ por segundo; $v^2 = 69.86$; $g = 9.78$ en el Ecuador y R variable en cada curva. Con esa fórmula hemos calculado la tabla siguiente; [Tabla original]

Grado de las curvas	Radios correspondientes	Peralte o desnivel
1	1146 m.	7 mm.
2	573	13
3	382	19
4	286	26
5	229	33
6	191	39
7	164	46
8	143	53
9	127	60
10	115	67
11	104	73
12	96	79
13	88	86
14	82	93
15	77	99
16	72	106
17	68	113
18	64	119

Suponemos para esto que la velocidad máxima de los trenes de pasajeros sea 30 kms. a la hora y la de los de carga 18 kms.

Hay otra fórmula empleada en Francia en las redes de París-Lyon-Méditerranée, du Nord et de L'Etat, que es $d=V:R$, pero los resultados que se obtiene con nuestros datos no son aceptables, pues la velocidad es muy pequeña y los radios son muy reducidos. Hay que advertir que la fuerza centrífuga por si sola no haría salir los vehículos fuera de la vía, por esto, el fin principal del peralte es evitar los desplazamientos transversales de la vía que se producen a consecuencia de dicha fuerza. Sobre este asunto, esta es la opinión de M. Bricka: *Il n'ya jamais a craindre qu'un train saute hors de la voie sous la influence de la force centrifuge; ce que le dévers a pour objet d'éviter, ce son les ripages, c'est a dire les déplacements transversaux.*" (Cours de Chemins de Fer.)

En general el límite aceptado como peralte máximo es de 15 a 16 centímetros, pues un peralte mayor es difícil de conservarlo. Nosotros hemos aceptado como máximo el de 119 mm. para las curvas de 18°

La sobre elevación del carril, se comenzará a una elevación conveniente antes de la curva, de modo que la distancia total se obtenga al medio de la curva. Adoptamos este sistema por parecernos que da el mejor resultado a pesar de que algunos ingenieros opinan que al empezar la curva debe comenzarse el peralte y otros que el peralte total debe tenerse ya en el comienzo de la misma.

La fórmula general que sirve para encontrar la distancia a que debe empezarse a ganar el peralte en las rectas adyacentes a ellas es de: $d=8 v \times \text{peralte}$, siendo $v=48$. Caso de que haya dos curvas consecutivas de centro a diferente lado, hay que procurar que en general haya como mínimo una distancia de veinte metros en la que los carriles estén a nivel.

En lo que se refiere a la relación entre el peralte y la explanación, opinamos con el ingeniero español Vallejo Ortega en esta forma: "En algunas construcciones se ha ejecutado la explanación con el peralte correspondiente a las curvas, lo cual, es natural, facilita grandemente el asiento; pero consideramos muy difícil efectuar esta operación durante el período del trabajo pues requiere un cuidado y vigilancia que no compensa a la brevedad del asiento, y aún así, siempre habrá de sufrir modificaciones". [Manual Práctico de ferrocarriles económicos].

Para pasar de una alineación rectilínea a una curva y obtener el peralte de que tratamos, se ha recomendado el empleo de la radioide y de la parábola de tercer grado, pero es cierto que se puede obtener buenos resultados sin el empleo de estas curvas, aún en líneas cuyos trenes marchan a gran velocidad, más aun que en nuestro caso la velocidad máxima será de treinta kilómetros a la hora. En el Ecuador es práctica corriente hacer este enlace simplemente por un arco de círculo.

Huelgo o sobreancho de la vía.—Al propio tiempo que el peralte, es necesario tener en cuenta el sobreancho que debe darse a la vía a fin de facilitar el libre juego de las ruedas sobre los carriles. Este aumento en el ancho de la trocha debe ser de 8 a 15 mm. según el grado de la curva y excepcionalmente se debe llegar a 20 ó 25 mm. Se ha visto sin embargo que sin ningún sobreancho, el material rodante puede circular muy bien aún en curvas de pequeño radio, con todo, cuando el radio sea menor que 300 ó 350 mt. será más conveniente hacer uso de él en la forma indicada.

Inclinación de los carriles respecto de la vertical.—Como el desarrollo de la fila exterior de los carriles es mayor que de la interior, mientras las ruedas de afuera recorrieran la diferencia de longitud, las interiores patinarían. Para evitar esto, se ha dado a la llanta de la rueda la conicidad de 1 a 20 estando el vértice del cono hacia el exterior de la vía; a fin de que la llanta se asiente bien sobre el carril, se requiere que éste tenga la misma inclinación en igual sentido. Esto se consigue haciendo unas entalladuras en las traviesas, en el lugar donde asienta el carril. Como la base del carril que empleamos tiene 103.18 mm. de ancho basta que la entalladura tenga 5 mm. de profundidad en la parte más honda, para obtener la inclinación de 1 a 20.

Curvas verticales.—Véase esta misma cuestión en la infraestructura.

Curvatura de los rieles.—Para que los rieles tengan la curvatura apropiada a cada grado de curva, es necesario calcular la ordenada media por cada longitud del riel, lo cual se obtiene mediante la expresión $m = \frac{c^2}{8R}$, en la que m = ordenada media y c = longitud de la cuerda, que puede confundirse con la longitud del riel, cuando éste no es muy largo y la curva no es muy cerrada. Con esta fórmula se ha calculado una tabla por cada longitud del riel y cada grado de curva. Esta se encuentra en el "*Field Engineering*" by Searles & Ives, tabla 8^a, pág. 25.—Conocida en cada caso la orde-

nada media, bastará curvar el riel con la prensa, hasta obtener su valor.

Herramientas para el asiento de la vía.—Véase la especificación en el presupuesto general.

Pasos a nivel.—Existe uno solo en toda la línea y está en la estación 5+65. Como el camino que atraviesa es bastante concurrido sería talvez oportuno poner un cierre o barrera que interrumpa el tráfico mientras pasa el tren. Bastaría hacerla de hierros en ángulo para que sea económica. Costaría al rededor de \$ 100,00.

Valor del kilómetro de superestructura.—De las especificaciones anteriores deducimos que el kilómetro de superestructura tiene el siguiente precio:

rieles, eclisas, grapas y pernos.....	\$ 7232
traviesas.....	4250
Balasto.....	2040
enrieladura.....	700
Total	\$ 14222

(Concluirá)



ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL