

LIGEROS APUNTES

SOBRE EL

TRAZADO PRÁCTICO DE LOS FERROCARRILES

POR EL

MÉTODO AMERICANO

TESIS

Presentada en el examen profesional de Ingeniero de Caminos,
Puertos y Canales,
por el alumno de la Escuela N. de Ingenieros

ANGEL PEIMBERT,

Ingeniero Topógrafo é Hidrógrafo.



MEXICO

OFICINA TIP. DE LA SECRETARIA DE FOMENTO

Calle de San Andrés número 15

—
1897



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Al progresista é ilustrado Secretario de Comunicaciones y Obras Públicas

SEÑOR GENERAL

FRANCISCO Z. MENA,

Sincero testimonio de aprecio y respeto.

El Autor.

LAS ideas generales que sirven de tema á este ligero é incompleto estudio, adquiridas en un corto período de práctica profesional, alcanzan ahora los honores de la publicidad, debido á la bondadosa iniciativa y cooperación de mi estimado profesor el ~~Sr. Ingeniero Antonio M. Anza~~ Ingeniero Antonio M. Anza. Al aceptar gustoso la distinción que me otorga, hago presentes mis votos de gratitud al Sr. Ingeniero Carlos Daza, bajo cuya dirección adquirí los cortos conocimientos que ahora expongo; y al mismo tiempo deseo que éstos ayuden en algo, facilitando el trabajo á los que se dediquen al estudio de una cuestión de importancia tan trascendental y de resultados tan eminentemente útiles y prácticos, como la presente.

RECONOCIMIENTO Y TRAZO PRELIMINAR.

Los procedimientos seguidos en el estudio y localización de un trazo de vía férrea por la mayor parte de los Ingenieros norte-americanos y mexicanos, difieren bastante, aunque no en esencia, de los generalmente adoptados por los Ingenieros europeos.

Habiéndose levantado en aquellos países cartas geográficas y aun topográficas bastante exactas, conocidos como están sus accidentes orográficos que los surcan, la cuestión del reconocimiento previo del terreno y del estudio verdadero del trazo que mejor convenga en la localidad, se hace, como se comprende fácilmente, sobre las referidas cartas, que dan una idea sumamente aproximada del terreno y por consecuencia de las pendientes generales que es conveniente adoptar y de los límites más ó menos extensos en que es posible colocarse.

En América y principalmente en México y países sud-americanos, las diversas comarcas en que se encuentran las cordilleras y serranías están poco menos que inexploradas y desconocidas. Hay por lo mismo necesidad urgente, cuando se quiere practicar un trazo en tales regiones, de principiar por hacer un reconocimiento, que podríamos llamar general, en el cual el objeto principal consiste en tener una idea más ó menos aproximada de las diferencias de nivel que existen entre los puntos que se quieren ligar, así como también de conocer aproximadamente el desarrollo probable de la línea que enlazara tales puntos. En seguida y sirviendo de base este reconocimiento general, se practican otro ú otros más limitados y exactos, valiéndose de instrumentos más precisos que indicaré en seguida y que tienden todos al conocimiento exacto de la topografía de una faja de terreno más ó menos amplia, que sirve luego de vasto campo de movilización y estudio para la localización definitiva de los trazos.

En estos reconocimientos generales, el ingeniero para poder formar un itinerario completo de la línea que recorra y que pretenda aprovechar, sirviéndole seguramente como base de su estudio, necesita llevar instrumentos que le permitan determinar con la aproximación del caso, su posición; más bien el conocimiento de las tres coordenadas de los diversos puntos que vaya siguiendo y que considere á su entender como forzosos ú obligados para su trazo. Usará como instrumento angular ó goniómetro la brújula de reflexión, las distancias

las apreciará valiéndose del podómetro y en casos más particulares de la estadía; en fin, las diferencias de nivel, es decir, el perfil de la línea que recorra, lo podrá formar tomando sus alturas con un buen barómetro aneroide y llevando además como auxiliar un nivel de Locke ó de mano.

Respecto al uso del barómetro aneroide conviene recordar algunas reglas para su manejo. El principio en que se funda este instrumento enunciado por Vidi, estriba en las deformaciones más ó menos grandes que las variaciones de presión atmosférica hacen sufrir á una caja metálica de paredes muy elásticas.

Se gradúa por comparación con un barómetro de mercurio, pero esta graduación incorrecta aún en su origen, no tarda en ser menos precisa, á consecuencia de una variación lenta en la elasticidad del muelle metálico y una deformación permanente del mismo.

Como el grado de elasticidad varía con la temperatura, algunos barómetros de esta clase se encuentran provistos de un termómetro que indica la temperatura del aparato; pero es preferible hacer uso de los barómetros aneroides compensados, que con una presión atmosférica constante dan la misma lectura, cualquiera que sea la temperatura del instrumento. La compensación siendo una operación delicada, trae necesariamente un pequeño error, peculiar á cada aneroide y que varía con la temperatura del mismo. Este error que raras veces excede de $0^m.0002$ por $5^{\circ}5$ C. de diferencia en la temperatura, puede terminarse por comparación con un barómetro de cubeta á diversas temperaturas y considerando esta diferencia total como proporcional al número de grados límites entre los cuales se hayan practicado las lecturas.

De todas estas causas de error y del origen de las mismas, se desprende la necesidad que hay de comparar con cierta frecuencia el aneroide para eliminar en lo posible estas diferencias.

Además, el principio de la compensación supone que el aneroide tiene una temperatura uniforme en todas sus partes é igual á la de la atmósfera que lo rodea, por consiguiente se le debe precaver de las variaciones bruscas de temperatura, exposición al sol ú otra causa que pudiera ocasionar un desequilibrio de temperatura en las distintas partes del aparato. Comúnmente está protegido por una caja de cuero y debe hacerse la observación, colocándolo á la sombra, en lugar abrigado y horizontalmente, esperando el tiempo necesario para que se restablezca el equilibrio entre la temperatura del aparato y la de la atmósfera que lo rodea.

En uno de los reconocimientos que practiqué en los manantiales situados en la Sierra de las Cruces, vertientes del valle de Toluca, valiéndome de un aneroide compensado (Negretti y Zambra) perfectamente comparado, encontré las diferencias siguientes:

ESTACIONES.	Barómetro.	Temperatura.	Diferencias.
Ajolotes	$0^m.5125$	$4^{\circ}5$	$102^m.5$
La Gachupina.....	$0^m.5060$	$11^{\circ}0$	$14^m.7$
Tío Pablo y Cañada Honda..	$0^m.5051$	$11^{\circ}4$	.....

El aneroide tenía por corrección entre esos límites de temperatura

$$c = + 0^m.0037$$

y la fórmula que usé para la determinación de las diferencias de nivel, fué

$$n = 18346 (1 + 0.002 (T + t) (\log B - \log b))$$

en la cual B y b son las lecturas barométricas á las temperaturas atmosféricas respectivas T y t .

Estas diferencias de nivel obtenidas después por nivelación topográfica, fueron:

101^m5

16^m2

se ve pues, que la mayor diferencia igual á 1^m5 no excede ni con mucho al límite de aproximación del instrumento y que, por consiguiente, empleando el aneroide con suma precaución y cuidando en compararlo con precaución, puede tenerse cierta seguridad en sus indicaciones.

Una vez expuestas estas anteriores reflexiones sobre el uso del barómetro aneroide, daremos algunas reglas generales que deben guiar al ingeniero en el estudio de un trazo:

1^a Una vez elegida su pendiente gobernadora y su grado límite en las curvas, hará todos los esfuerzos posibles para que su línea de reconocimiento se mantenga entre los referidos límites.

2^a Procurará evitar las grandes obras de arte y reducirá hasta donde le sea dado, el movimiento posterior de terracerías, es decir, tenderá á que las obras subsecuentes sean económicas.

3^a No solamente se limitará al estudio especial de una línea de reconocimiento, sino que sus trabajos se harán por distintas regiones y sus esfuerzos serán combinados, pues de otra manera quizá la primera solución que encontrara no fuera, sin duda, la mejor.

Una vez formado el proyecto general de los puntos que es conveniente tocar y de la zona que es necesario seguir, se procede al trazo de la línea llamada preliminar. Los puntos llamados obligados satisfaciendo á las condiciones generales de pendiente, limitan el estudio en general que los une, al particular de los tramos que comprenden. Por consiguiente entre estos diversos puntos y sujetándose á la pendiente asignada entre ellos en el estudio general se procede á los trazos de las llamadas líneas preliminares. Estas líneas formadas únicamente por una sucesión de alineamientos rectos, se marcan en el terreno por puntos situados de 20 en 20 metros¹ en cada uno de los cuales se

1 Esta medida debe ser siempre horizontal, y cuando la pendiente del terreno es fuerte se hace la medida por tramos más cortos, valiéndose el cadenero de atrás cuando se sube y el de adelante cuando se baja de una plomada para la colocación de la estaca.

coloca una estaca. El instrumento angular usado en esta operación es el transit americano ó el taquímetro italiano de minuto y el ingeniero para guiarse en esta operación usa continuamente un nivel de Locke y un estadal común, para darse una cuenta aproximada y rápida de la pendiente que lleva.

Las diversas variaciones angulares que debe forzosamente experimentar la línea preliminar reciben en el lenguaje ferrocarrilero el nombre técnico de deflexiones y las definiremos diciendo que: «Deflexión es el ángulo comprendido entre un alineamiento y la prolongación de su anterior,» teniéndose siempre cuidado al anotarlos de indicar su sentido, según que se inclinen á la derecha ó á la izquierda de un observador que camine en el sentido del trazo.

Las estacas se numeran siguiendo los números pares 2, 4, 6, 8, etc., de suerte que visto el número de una estaca y multiplicado por 10 dará inmediatamente la distancia en metros hasta el punto considerado. Para la medida de estas distancias se emplea la cadena ó el resorte común de 20 metros y muchas veces sucede que estando muy marcada la pendiente del terreno, la cadena no puede llevarse horizontalmente sino en tramos cortos y entonces estas estacas se anotan con el número par de la anterior, más el número de metros medidos hasta ellas.

Lo mismo acontece cuando se cree conveniente cambiar de dirección en un punto cuya numeración no corresponda á una estaca par y todas estas anotaciones se hacen con lápiz azul sobre la cara de la estaca, que mira á un observador que recorre el trazo. A los puntos de inflexión se les añade, como marca especial para distinguirlos, un pequeño triángulo, encima del número, con un punto en su centro y á los que únicamente sirven de cambio de instrumento para la prolongación de un alineamiento se les coloca un pequeño círculo con su centro igualmente marcado (fig. 1).

Es también necesario anotar los rumbos ó azimutes de estos alineamientos, lo cual se hace de la manera siguiente: el primer alineamiento lleva como rumbo el directamente observado en la brújula y los demás se obtienen por combinación de las deflexiones sucesivas con los nombres que las preceden, obteniéndose de esta suerte los rumbos calculados que deben compararse con los observados en la brújula y que igualmente se anotan.

Las brújulas americanas están divididas por cuadrantes, cuyos ceros se encuentran en la línea N.S. y al anotar un rumbo se hará siempre de acuerdo con esta disposición especial de la brújula. Al calcularlo se combinará el rumbo anterior con la nueva deflexión, según que ésta se dirija á la derecha ó la izquierda, asentando como regla general que en el primero y tercer cuadrantes se adicionará la deflexión al rumbo si es á la derecha y se substraerá si es á la izquierda, invirtiéndose esta regla para el segundo y cuarto.

Para aclarar estas ideas, así como para presentar una forma de registro cómoda en esta operación, pondré el siguiente, que corresponde al principio de la línea preliminar ejecutada en mi práctica de ferrocarriles en la Sierra de Tlatlauqui (Ferrocarril de San Marcos á Nautla).

TRAZO PRELIMINAR.				RUMBOS.			
Estaciones.		Distancias.	Deflexiones.	Calculados.	Observados.	Notas.	
P T 7896 + 5					N 65° 52' E.	Dbre. 4 de 94.	
7906 ⊙							
7926 + 6	△	301 ^m	46° 30' D.	S 67° 38' E	S 68 00 E.	Dbre. 5.	
7948 + 4	△	218	28 55 D.	S 38 43 E	S 39 10 E.		
7970 + 10	△	226	30 40 D.	S 8 03 E	S 8 20 E.		
7976	△	250	63 30 I.	S 71 33 E	S 71 48 E.		
8014	△	180	11 30 D.	S 60 03 E	S 60 20 E.		
8034	△	200	36 30 D.	S 23 33 E	S 23 50 E.		
8048	△	140	23 30 D.	S 0 03 E	S 0 25 E.		
8060	⊙	120	" "				
8072	△	120	17 00 I.	S 17 03 E	S 17 15 E.		
8076	△	40	65 00 I.	S 82 20 E	S 82 20 E.		
8086	⊙	100	" "				
8096	△	100	30 00 D.	S 52 03 E	S 52 30 E.	Dbre. 6	
8102 + 12	△	72	39 00 D.	S 13 03 E	S 13 30 E.		
8108 + 4	△	52	11 30 D.	S 1 33 E	S 1 40 E.		
8112	△	36	5 37 I.	S 7 10 E	S 7 10 E.		
8116 + 14	△	54	" "				
8124 + 5	△	71	48 00 D.	S 40 50 W	S 41 10 W.		
8128	△	35	7 45 D.	S 48 35 W	S 48 40 W.		
8136 + 14	△	94	18 38 D.	S 30 05 W	S 30 25 W.		
8148	△	106	24 30 D.	S 5 35 W	S 5 50 W.		
8152	△	40	15 30 I.	S 9 35 E	S 9 50 E.	Dbre. 7	

Como se ve, los rumbos observados difieren de los calculados, dependiendo esta diferencia de la aproximación limitada de la brújula. Los instrumentos americanos teniendo círculos bastante grandes en su brújula y bien divididos, se prestan para la apreciación hasta de 10 minutos, mas como en nuestro caso el instrumento empleado fué un taquímetro de minuto, cuya brújula tiene una aproximación más limitada, la diferencia se hace mucho más sensible. De todas maneras, este rumbo observado, no sirve sino de comprobación y no influye nunca en el valor del rumbo verdadero, que siempre es el calculado.

Algunas veces sucede que la brújula experimenta desviaciones inesperadas, á consecuencia de la naturaleza metalífera del terreno que se atraviesa, presencia de grandes rocas, etc.; conviene para poder descubrir estos errores, que no dependen del observador y que por otra parte en nada perjudican la exactitud de la operación misma, llevar en cuenta siempre los rumbos inversos, pues de esta manera, si la operación ha sido bien llevada, la diferencia anormal que se encuentre entre el rumbo calculado y el observado del nuevo alineamiento, deberá ser igual á la que exista entre el rumbo inverso que debiera tener el alineamiento anterior y el que realmente marque la aguja.

Conocidos ya los elementos y las bases de esta operación, daré una descripción ligera de la ejecución material de la misma. El instrumento una vez perfectamente bien centrado y nivelado, debe tener en coincidencia el cero del vernier con el del limbo. Haciendo uso del movimiento general y con el antejo en posición inversa se visará el punto anterior, en el cual se colocará una valiza, fijando este movimiento en la coincidencia. Se hará girar entonces el an-

tejo al derredor de su eje horizontal y se soltará el movimiento particular, estimándose en seguida la deflexión ó desviación angular, según convenga. Una vez elegida esta deflexión se fijará este movimiento particular y se procederá á la colocación y alineamiento de las estacas, según se indicó anteriormente.

Al hacer estación en los distintos puntos de inflexión ó de prolongación del trazo, es necesario antes de quitar el instrumento del punto en que se opera para transportarlo al siguiente, rectificar la operación repitiendo lo antes hecho; es decir: dirigir una visual al punto anterior en posición inversa y en el cero, volver en seguida á la directa, corriendo de nuevo la deflexión antes tomada y si la operación ha estado bien ejecutada el punto fijado debe coincidir axactamente con el hilo vertical de la retícula, moviéndose en caso contrario la estaca convenientemente hasta la perfecta coincidencia.

Una vez seguros de esta parte de la operación, se hace lo que se llama «*dar punto*,» de la manera siguiente: cuando el ingeniero que dirige el trazo y que camina siempre adelante, está bastante lejano del que lleva el "transit" y cree conveniente cambiar de dirección y fijar el punto en que se encuentra, hace que el cadenero haga una señal particular con la valiza, que indica al que conduce el transit que debe rectificar su operación como antes se dijo. Esta señal consiste en tomar la valiza con ambas manos por sus extreminades y en seguida levantar los brazos colocándola en posición casi horizontal. El que lleva el transit, cuando está de acuerdo en su rectificación, hace al cadenero una señal algo semejante, que consiste en levantar y bajar los brazos describiendo un plano, cuya señal indica al cadenero que debe marcar el punto colocando una tachuelita en la cabeza de la estaca y precisamente en el lugar que ocupaba la punta de la valiza, cuando tuvo lugar su coincidencia con el hilo vertical de la retícula.

Hasta ahora tenemos ya recogidos en el terreno todos los elementos necesarios para la construcción del camino, seguido por el trazo en un plano horizontal, por un sistema de coordenadas polares, un rumbo y una distancia, y cuyo polo varía constantemente de posición. El conocimiento de la tercer coordenada se tiene haciendo una nivelación topográfica de todos los puntos marcados en la preliminar, tomando además todos los datos indispensables para la construcción del perfil de la línea que se ha seguido.

Quando se quiere tener idea de la posibilidad más ó menos grande que puede haber para llevar un trazo por determinada región y al mismo tiempo no se quiere hacer el trazo concienzudo de una preliminar, sin partir para ello de una base más segura, se efectúa un reconocimiento que podría llamarse antepreliminar y que se hace como sigue: Como instrumento angular se emplea la brújula de reflexión, anotando en los puntos de inflexión los rumbos; las distancias se toman con cadena común de 20 metros, colocando en lugar de estacas fichas, que el cadenero de atrás debe recoger sucesivamente y las alturas se toman haciendo una nivelación topográfica, rápida á la vez que exacta, de

los puntos que se van marcando con las referidas fichas. En los puntos de cambio de instrumento se colocan estacas que se numeran lo mismo que en los trazos anteriores.

El registro, sumamente sencillo, no consta sino de tres columnas, como se ve en el adjunto, que pertenece á un ensayo de preliminar que se hizo partiendo del P T 7896 + 5* con objeto de estudiar las pendientes y el desarrollo que podría tener un trazo que siguiera casi paralelo al camino de Tlatlauqui hasta Ocotlán, en cuyo lugar se apartará de esta dirección general inclinándose al N.E. y salvando en seguida las barrancas de Xomeco, Xalehuala, etc., hasta llegar á San José.

Este punto se había ya alcanzado por el estudio cuyo plano presento.

Estaciones.	Distancias.	Rumbos.	NOTAS.
8094	220 ^m	215°00'	El P T 7896 + 5 es el punto inicial del trazo efectuado por el Sr. Ingeniero Daza y el final del practicado por el Sr. Ingeniero Early.
8072	360	220°00'	
8036	360	213°45'	
8000	300	200°30'	
7940	300	204°00'	
7916	240	216°00'	
P T 7896 + 5	195	219°30'	
8246	210	197°00'	
8224	380	198°30'	
8186	200	258°00'	
8166	240	207°00'	
8142	480	179°15'	

Este ligero estudio no condujo á un resultado favorable, pues aunque hubiera podido continuarse con una pendiente moderada, al cruzar las barrancas mencionadas, alargaría en mucho el trazo y no presentaría en realidad ventaja alguna sobre el anterior.

De cualquiera manera que sea, sirvió bastante, pues en primer lugar hizo ver la inconveniencia de seguir tal dirección y en segundo ratificó y afirmó la idea del primer trazado. Este estudio, además, tuvo la ventaja de hacerse en un día y dió, como se ve, con rapidez el resultado apetecido.

Se bajó con una pendiente general del 2.27 por ciento, como puede verse en la adjunta lista:

		PENDIENTES.
1 ^{er} . kilómetro.....	7896 á 7996	2.21 por ciento.
2 ^o " 	7996 „ 8096	2.28 " "
3 ^{er} . " 	8096 „ 8196	2.05 " "

De este último punto al final, que fué la estaca 8246, hubo una diferencia de 13^m21, que corresponde á una pendiente de 2.64 por ciento.

En estos reconocimientos ante-preliminares, las operaciones se hacen con mucha rapidez, el nivelador es el que tiene que operar con mayor prisa, pues la medida y colocación de las fichas es muy violenta y no se continúa hasta

* Práctica en el Ferrocarril de San Marcos á Nautla.

que el estadal se coloca en la ficha próxima á recogerse por el cadenero de atrás. Son de mucha utilidad, pues dan inmediatamente idea del camino que debe seguirse en lo de adelante al trazarse la verdadera preliminar y además, como la nivelación, aunque rápida, se hace con cuidado, pueden fijarse durante ella puntos de referencia (bancos y turnings), que después al hacerse el verdadero estudio, base de lo topografía, se rectifican tocándolos por segunda vez.

El instrumento angular es, como se habrá visto, de una aproximación escasa; mas esto si se nota no es de importancia, pues el error que podría cometerse en la observación de los ángulos, solamente tendría influencia si se dibujara este alineamiento ó si sirvieran estos ángulos de fundamento para operaciones subsecuentes que tuvieran por base el conocimiento exacto de las deflexiones; mas como el objeto del rumbo es muy distinto en este caso, pues sólo sirve para tener la dirección aproximada de los puntos, si se trata después de encontrarlos con facilidad en el terreno; un error de un grado como máximo, no sería de influencia, pues los puntos se encuentran ya fijos y el rumbo sólo sirve para facilitar su encuentro en el caso de que se crea útil aprovecharlos.

NIVELACIÓN.

La nivelación en un trazo, tiene por objeto el conocimiento de las alturas de un número de puntos tal, del mismo, que basten para la formación de su perfil. El nivelador no se limitará por consiguiente á determinar únicamente las alturas de las estacas colocadas en la preliminar, sino que tomará igualmente nota de todas las diferencias notables (alturas ó depresiones) que encuentre en la línea del trazo, aun cuando en ellas no hubiere estacas. Como se tienen solamente conocidas alturas de puntos aislados del perfil, lo que equivale á suponer entre ellos pendientes uniformes; se comprende que dicho perfil será tanto más aproximado á la verdad, cuanto más se aumente la proximidad de los puntos nivelados.

Se ha convenido en esta clase de trabajos, suponer uniforme ó casi uniforme la pendiente que existe entre dos estacas, siempre que el terreno que las separa no presente á la vista diferencias apreciables. En caso contrario, deberá colocarse una nueva estaca en el punto de inflexión del terreno, refiriendo su distancia al punto anterior.

Generalmente las alturas se relacionan al nivel del mar tomado como plano de comparación y para eso es necesario determinar barométricamente ó de otra manera la altura absoluta de un punto fijo, situado en el origen del trazo y que sirve de punto de partida para la nivelación que abarque los nuevos puntos del mismo.

Respecto á la operación misma en su parte ejecutiva, es demasiado conocida para repetirla, me limitaré sencillamente á indicar las modificaciones y la disposición general que sufre en un trazo.

Siendo necesario eliminar y evitar en lo posible los errores inherentes á todo operación topográfica como la presente, recordamos que éstos pueden ser de dos naturalezas distintas: de observación y de registro. Los últimos fáciles de encontrarse y de enmendarse debido á la forma especial de registro usada en estos casos y que indicaré luego, no son de importancia; en cuanto á los primeros, sí la tienen y su presencia exige la repetición de la nivelación.

Solamente se pueden encontrar, trayendo la nivelación al punto inicial, es decir, cerrando un polígono.

Con objeto de disminuirlos en lo posible, la nivelación de los diversos tramos de la línea se hace por tramos relativamente cortos, referidos á puntos fijos, llamados «bancos» y que por el carácter de estabilidad y posición que tienen en el terreno pueden usarse como puntos de referencia inamovibles. Estos bancos separados por distancias que varían de 500 á 1,000 metros se escogen comunmente, sobre rocas, entalladuras que se practican en los troncos y raíces ó cualquier otro punto firme y se marcan usando por costumbre las iniciales B M¹ y el número de orden correspondiente.

Como es fácil notar, mientras mayor sea la proximidad de los bancos, la rectificación de la nivelación será más sencilla en el caso de que hubiere algún error, pues éste se encontrará localizado y aislado, por decirlo así, en un tramo relativamente corto y será por consiguiente fácil de hallarse.

Es bueno también que los bancos estén fuera del alcance de las terracerías y obras de arte que en lo sucesivo se ejecuten; pues de esta manera se conservan durante y aun después de la construcción, sirviéndole de mucho. Es casi una regla que en las proximidades de una obra de arte como puente, viaducto, túnel etc., debe siempre situarse uno ó más bancos que serán los puntos de partida para relacionar, durante la ejecución de la obra, todas las alturas del proyecto en construcción á las ya conocidas de los bancos.

Como ejemplo de registro americano de nivelación, presento los adjuntos que forman parte el primero de la línea localizada en el tramo de ferrocarril de San Marcos á Nautla y el segundo de la línea igualmente localizada del trazo de canal proyectado para encausar las aguas de algunos manantiales situados en la Sierra de las Cruces.²

FERROCARRIL DE SAN MARCOS Á NAUTLA.

Estaciones.	Enlace.	Alt. Inst.	Intermedias.	Elevaciones.	Notas.
—	—	—	—	—	—
B M (Nº 1).	3.581	2311.696		2308.115	
P T. 7896 + 5			2.71	2308.99	
7898			2.40	2309.30	
7900			2.30	2309.40	
7902			1.75	2309.95	
7904			1.37	2310.33	

1 Abreviación de las voces inglesas (Bench mark).

2 Cañada Honda, Tío Pablo, El Puerco, La Gachupina, El Abra, Oyameles, Tepozanes y Ajolotes.

Estaciones.	Enlace.	Alt. Inst.	Intermedias.	Elevaciones.	Notas.
7906		2311.676 ^{m.}	1.49	^{m.} 2310.21	
7908			1.79	2309.91	
T P (7908).	0.883	2310.889	1.690	2310.006	
7910			1.21	2309.68	
7912			1.47	2309.42	
7914			1.57	2309.32	
7916			1.60	2309.29	
7918			1.91	2308.98	
		2310.889			
7920			2.26	2308.63	
7922			2.72	2308.17	
T P (7922).	0.380	230.625	2.644	2308.245	
7924			0.99	2307.63	
7925			1.24	2307.38	
7926			1.59	2307.03	
(B M. N° 2).			1.273	2307.352	Sobre tronco á la derecha á 10 ^{m.}
7928			2.07	2306.55	
7930 -			2.44	2306.18	
7932			2.51	2306.11	
7934			2.47	2306.15	
T P (7934).	2.220	2308.413	2.432	2306.193	
7936			2.14	2306.27	
7938			1.77	2306.64	
7940			1.39	2307.02	
7942			1.16	2307.25	
7944			0.64	2307.77	
T P (7944).	3.052	2310.886	0.579	2307.834	
7946			2.57	2308.32	
7948			1.98	2308.91	
7950			1.80	2309.09	
7952			2.86	2308.03	
7954			3.26	2307.67	
7956			2.66	2308.23	
7958			2.30	2308.59	
7960			1.70	2309.19	
7962			0.94	2309.95	
T P (7962).	3.908	2313.914	0.880	2310.006	
7964			2.64	2319.27	
7966			2.16	2311.75	
7968			1.51	2312.40	
B M. N° 3).			1.162	2312.732	Sobre tronco á la izquierda y á 5 ^{m.} de la estaca (7968).
7970			0.68	2313.23	
T P (8970).			0.593	2313.321	

EMPRESA CHOUSAL Y CIA.—TERCER TRAMO DE ACUEDUCTO.

La Gachupina y Cañada Honda.

Estaciones.	Enlace.	Alt. Inst.	Intermedias.	Elevaciones.	Notas.
		m.		m.	
B M (20).	0.250	184.587		184.337	
827	(Manantial.)		N. de M.	179.85	
827 + 4	Tío Pablo N° 4.			178.88	
828			1.81	182.78	Tío Pablo. N. de M.
829			1.45	183.14	826..... 182.59
830			0.87	183.72	827..... .. 2.74—179.85
831			0.82	183.77	827+4.. 3.71—178.88
T P (31).	1.795	185.759	0.623	183.964	
832			1.84	183.92	
833			1.07	184.69	
834			1.56	184.20	
835			1.11	184.65	
836			0.82	184.94	
837			1.01	184.75	
838			1.30	184.46	
839			1.22	184.54	
840			2.25	183.81	
T P (40).	1.930	185.607	2.082	183.677	
840 + 4.50	(Manantial.)		N. de M.	180.81	
841	Tío Pablo N° 2.			183.91	
842			0.24	185.37	
843			0.83	184.78	
844			0.92	184.69	
845			1.21	184.40	
846			1.29	184.32	
T P (46).	1.675	186.130	1.152	184.455	
847			2.00	184.13	
848			1.75	184.38	
849			1.96	184.17	
850			2.02	184.11	
851			2.04	184.09	
852			2.03	184.10	
853			1.82	184.31	
T P (53).			1.624	184.506	

La manera de comprobar la exactitud de las sumas y restas hechas en el campo es muy sencilla y fácil de deducir; llamaremos A la altura del punto de partida, $E_1 E_2 E_3 \dots \dots E_n$ las lecturas de enlace y $L_1 L_2 L_3 \dots \dots L_n$ las intermedias de (turning).

La altura del primer turning será designándola por T .

$$\begin{array}{rcl}
 & & T_1 = A + E_1 - L_1 \\
 \text{la del segundo} & & T_2 = T_1 + E_2 - L_2 \\
 \text{la del tercero} & & T_3 = T_2 + E_3 - L_3 \\
 & & \dots\dots\dots \\
 & & \dots\dots\dots \\
 \text{la de un enésimo} & & T_n = T_{n-1} + E_n - L_n
 \end{array}$$

Si sustituimos los valores de $T_1, T_2, \dots\dots\dots$ en los siguientes hasta llegar á T_n , encontraremos que este turning tiene por altura

$$\begin{aligned}
 T_n &= A + (E_1 + E_2 + E_3 + \dots\dots\dots + E_n) - (L_1 + L_2 + L_3 + \dots\dots\dots + L_n) \\
 T_n &= A + \Sigma E_i - \Sigma L_i
 \end{aligned}$$

Se sumarán en consecuencia á la altura inicial, todos los enlaces que preceden al punto cuya altura se trata de ver si no está influenciada por algún error de suma ó resta, á la suma se le quitará la suma de todas las lecturas de (turning); y si el resultado es idéntico al obtenido parcialmente en el registro la operación del mismo habrá sido bien ejecutada.

Es una buena costumbre rectificar en el mismo campo el registro, procediendo por hojas, á las que se acostumbra ponerles ésta marca  ó otra análoga, pues de esta suerte se evitará la propagación de un error semejante.

Cuando la línea preliminar presenta una pendiente exagerada, cosa que acontece frecuentemente en el cruzamiento de un thalweg, barranca, etc., es conveniente para facilitar el trabajo y aún para favorecer la exactitud de la operación misma, salvar el obstáculo colocando un turning del otro lado y en seguida nivelar los puntos intermedios valiéndose del nivel de mano. Esta nivelación, que parte naturalmente de la última estaca nivelada, tomando su altura como base y que debe enlazarse con el turning colocado con anterioridad del otro lado, puede practicarse de dos maneras: teniendo en cuenta la altura de la visual del observador para descontarla ó sumarla convenientemente, ó bien eliminando este factor, que siempre entorpece en algo la marcha y rapidez de la operación, procediendo del modo siguiente: se coloca el observador en un punto situado de tal manera, que la visual horizontal del observador situado en él pase por la estaca, cuya altura se conoce. En seguida y sin cambiar de sitio visará el estadal colocado en el punto cuya altura trata de abtener y la lectura que tenga será evidentemente el desnivel entre los dos puntos.

Este método aplicado con esmero da resultados muy aceptables y evita muchas veces el uso de puntos intermedios que son siempre inciertos.

Si en lugar de hacerse de este modo, se efectuase valiéndose del nivel común y situando los turnings necesarios, daría lugar á una acumulación de errores que tal vez quedarían sin compensación, originaría mucho trabajo á causa de la pendiente y la dificultad consiguiente de estacionarse en semejantes condiciones y no compensaría seguramente el resultado final.

Una vez conocidas las alturas de los puntos que constituyen la preliminar, se procede al dibujo del perfil, tomando como escala de las longitudes $\frac{1}{2000}$ y para las alturas $\frac{1}{200}$. De esta manera se pueden apreciar perfectamente las obras de terracería que conviene proyectar; y para hacer fácil esta apreciación, sobre el perfil dibujado, se mueve una hebra de hilo negro, que nos represente la línea de proyecto, hasta darle la pendiente que se juzgue oportuna.

En terrenos casi planos ó en aquellos lugares en los cuales por la naturaleza costosa de los tajos ó terraplenes se necesita valorizar con más exactitud la magnitud de las terracerías, se dibuja el perfil, usando las escalas de las distancias horizontales y de las alturas, en la relación de $\frac{1}{20}$ respectivamente.

Este perfil preliminar no sirve sino para dar una idea de la bondad del trazo preliminar, y en él conviene estudiar las modificaciones que debe sufrir éste, cuando se proyecte la línea definitiva ó localizada.

TOPOGRAFIA.

Una vez practicada la nivelación de todos los puntos suficientes para la formación del perfil de la línea preliminar, y conocidas por lo tanto las alturas de todos los puntos que la forman, se tiene ya la base para principiar á levantar la topografía de una faja de terreno más ó menos amplia que servirá para el estudio de las pendientes y movilización de la línea preliminar.

El procedimiento general usado en este levantamiento es el de secciones transversales.

Siendo la línea preliminar una verdadera sección poligonal del terreno, de la que se conocen las coordenadas ó posición determinada de cada uno de sus puntos que la forman, natural es el aprovecharla como punto de partida para las operaciones subsecuentes, tanto más, cuanto que los rumbos de los alineamientos que la forman y las alturas de todos sus puntos se conocen con bastante aproximación (minuto en los rumbos y centímetro en las alturas). Por consiguiente, cada sección transversal partirá de un punto de la preliminar, de altura conocida, y afectando la dirección, ya recta ó poligonal, seguirá contorneando las inflexiones más notables del terreno, que evidentemente serán las que más interese acusar en el plano y las que por lo mismo importe conocer con precisión. Estas secciones son verdaderos alineamientos á rumbo y distancia, nivelados con nivel de mano, y cuyos puntos se toman comunmente á 2 metros de desnivel unos de otros.

Se comprende luego, que mientras mayor sea el número de secciones hechas, mayor será el número de puntos nivelados del terreno y mejor el conocimiento de su topografía; y siendo además, uno de los objetos esenciales de este trabajo, el acusar con cierta exactitud las desigualdades y accidentes de importancia que se presenten, es necesario practicar estas secciones, como fácilmente se piensa, en las desigualdades mismas; es decir, de preferencia en los

thalwegs y crestas, procurándolas seguir en sus distintas direcciones, como indicaremos en lo sucesivo.

Los instrumentos usados en el levantamiento de secciones transversales son de una aproximación más limitada que los que se usaron en la línea preliminar. Como instrumento angular que nos sirve para fijar el rumbo de las secciones, se emplea la brújula de reflexión, las distancias se toman con cinta común, y por último, las alturas con nivel de Locke.

Indicaremos ligeramente cual es la marcha que se sigue en esta operación, colocado el ingeniero en el punto de la preliminar que juzga conveniente para desprender de él una sección, y suponiendo, como se hace generalmente, que trata de encontrar los puntos correspondientes á las curvas de nivel, pases que se encuentren en la dirección que fija desde luego, para su sección, valiéndose de su brújula y de una ó más valizas que manda colocar en la dirección misma, opera de la manera siguiente: estando situado en *A* (fig. 4) cuya altura conoce y que designaremos por *h*, si quiere descender ve la diferencia que hay entre su altura *h* y la curva próxima par inferior, diferencia que llamaremos *K*. Luego, si manda colocar en la dirección de su sección un estadal hasta encontrar un punto *B* en el que la lectura sea $K + O$, siendo *O*, la altura de la visual del observador, dicho punto pertenecerá á la curva próxima inferior y par que busca.

Si al contrario trata de ascender, buscará un punto *D* en el cual la lectura sea $O - K'$, designando por *K'* la diferencia que hay entre la próxima curva par superior y la altura *h* del punto de partida.

Una vez encontrado un punto de la primer curva, ya sea superior ó inferior, la cuestión se reduce á seguir buscando en la misma dirección puntos de dos en dos metros, teniendo naturalmente cuidado desde un principio de anotar las distancias horizontales $d_1 d_2 \dots$ etc., que los separan, siguiendo la forma de registro especial que indico luego.

mm. 84.70 Orilla barranquilla.									
(160°50')	58	60	62	64	66	68	70	72	74
	77.7	71.5	63.8	31.4	16.7	12.65	9.2	6.05	2.55
	7.0	6.2	7.7	32.4	14.7	4.05	3.45	3.15	3.50

mm. 69.45 Orilla barranca.									
(164°35')	48	50	52	54	56	58	60	62	64
	65.95	57.25	40.55	31.05	24.95	20.15	15.3	11.0	5.8
	3.50	8.7	16.7	9.5	6.1	4.8	4.85	4.3	5.2

mm. 61.8 Orilla barranca.									
(158°0')	46	48	50	52	54	56	58	60	62
	61.8	49.8	39.8	34.1	27.9	22.0	15.7	10.3	5.0
		12.0	10.0	5.7	6.2	5.9	6.3	5.4	5.3

Diferencia..... 1.93

EJE DEL LIBRO.

8248	76	78	80	82	84	86	88	90	92	(331°30')
2375.25	1.1	4.6	7.75	12.15	16.45	22.5	28.85	34.75	39.35	
2376.00	3.5	3.15	4.4	4.3	6.05	6.35	5.9	4.6		

0.75

8248
2375.25
2374

0.25

8240
2366.07
2366

0.07

86	88
61.9	65.6
3.7	

8240	68	70	72	74	76	78	80	82	84	(296°40')
2366.07	8.80	25.2	31.5	37.1	42.0	46.4	50.2	54.35	57.85	
2368	16.4	6.3	5.6	4.9	4.4	3.8	4.15	3.5	4.10	

8236

2364.08
2364

08

8236	66	68	70	72	74	76	78	80	82	(340°00')
2364.08	3.4	10.7	14.1	18.6	23.6	28.3	33.1	37.7	42.7	
2366	7.3	3.4	4.5	5.0	4.7	4.8	4.6	5.0		

1.92

Como se ve por la inspección de las anteriores páginas el registro de esta operación para llevarse como es debido, necesita ser hasta donde sea posible copia del terreno mismo, para lo cual se ha convenido en considerar el eje del libro como el trazo, colocándose en él, y empezando por abajo se inscribe el número de la estaca en la cual se va á hacer una sección é inmediatamente abajo la cifra que indique la altura del mismo punto. En seguida y según que la sección parta á la derecha ó á la izquierda del trazo, así se pondrá en el libro, poniendo, como se nota, abajo de los números pares que indican las curvas de 2 en 2 metros, las distancias sucesivas que las separan y la totales al punto inicial ó de partida. El rumbo se anota al margen de la página.

Es también muy útil y de mucha importancia para la mejor inteligencia y facilidad en el dibujo, diseñar en el mismo campo croquis que se acerquen en cuanto se pueda á la realidad; en éstos croquis se expresan los detalles que por su naturaleza misma ó quizá por su importancia relativa no merezcan sujetarse á una medida estricta ó al menos aproximada, sino que simplemente quedan al arbitrio del que configura, para que éste con cierta destreza los anote del modo que considere más propio y más comprensible. En estos casos quedan comprendidos la clase de los terrenos que atraviesa el trazo, los caseríos, rancherías, etc., la forma y configuración general del terreno, los acantilados y deslaves, etc., siempre que éstos no queden demasiado próximos á la línea, pues en tal caso habrá que acusarlos con precisión.

Para esto basta desprender de un punto conveniente una sección poligonal que se ajuste en lo posible á la forma general del accidente en cuestión, y de algunos de los puntos de esta sección, se desprenderán secciones secundarias normales á la primera ó con rumbo determinado ó simplemente levantando ordenadas hasta los bordes del cantil ó deslave.

Como se ve, es el procedimiento de rumbo y distancia, ya bajo la forma de un sistema de coordenadas polares, cuyo polo varía de posición, ya este mismo combinado con el de coordenadas cartesianas; añadiendo además la circunstancia feliz de que todos los puntos que comprende, tienen sus alturas conocidas con suficiente exactitud [errores de 5 á 10 centímetros] y por lo mismo perfectamente fijos de posición.

Los ejes de coordenadas á los cuales quedan referidos todos los puntos de un levantamiento semejante son, como se ha visto, la meridiana magnética y su perpendicular, ambos situados en un plano horizontal que es el de comparación y que comunmente es el nivel del mar. Hemos visto también al tratarse de la preliminar que un error angular cualquiera ocurrido en el trazo, se hace inmediatamente visible al comparar el rumbo calculado con el observado y el directo con el inverso, sobre todo cuando se atraviesa por alguna localidad en la que existan yacimientos ferruginosos ó magnéticos, en cuyos casos la brújula experimenta grandes desviaciones. En estos puntos que se conocen perfectamente al pasar con la línea preliminar, no podrá usarse la brújula de reflexión en el levantamiento de la topografía, sino que, la dirección de las secciones se referirá al alineamiento preliminar, ya midiendo el ángulo que exista

entre ambos ó ya valiéndose de tres magnitudes lineales que formen un pequeño triángulo, dos de cuyos lados estén respectivamente en las direcciones de la sección y de la línea preliminar.

La determinación del rumbo de estas secciones, es de una aproximación relativamente limitada [un cuarto de grado á lo sumo] y enteramente suficiente para el caso, pues una desviación de un medio grado en una sección no produciría á una distancia corta de la preliminar error sensible en las alturas de sus puntos y mucho menos en la forma general de las curvas.

No así al tratarse de la preliminar que es un levantamiento continuo á rumbo y distancia, y que cualquier error que se cometa se transmite y no puede localizarse, siendo además necesario conocer el elemento angular con cierta precisión para multitud de operaciones subsecuentes de localización que tienen todos por base el conocimiento exacto de la deflexión.

La topografía que bien podría llamarse general y que solamente sirve para dar una idea también general aunque bastante aproximada del terreno, debe distinguirse siempre y no confundirse con la topografía de una faja de terreno que podríamos designar bajo el nombre de «faja de movilización,» la cual, como su nombre lo indica sirve para hacer posteriormente la verdadera movilización de la preliminar buscando un minimum y una compensación de terracería hasta constituir la línea localizada ó definitiva y que necesita, como se comprende fácilmente por el objeto á que está destinada, ser de una exactitud y precisión mucho mayores que la topografía general.

Afortunadamente siempre que la línea preliminar esté en buenas condiciones, esta faja de terreno, no muy ancha, consta á lo más de 10 ó 12 curvas arriba y abajo de la línea, disminuyendo considerablemente y reduciéndose á una extensión mínima en los puntos que por su carácter de dificultad se les llama obligados y en los cuales la preliminar se confunde con la localizada.

Al contrario en aquellos sitios en los que se comprende que la línea localizada, quizá se separe bastante de la preliminar, prestándose el terreno para varias soluciones, será necesario ampliar convenientemente esta faja de topografía exacta, levantada, como se ha dicho con anterioridad, por secciones que comunmente están separadas unas de otras por distancias de 20 metros por término medio ó más bien sujetas al juicio del topógrafo que opera.

Algunos ingenieros completan á vista y con una calquita de la preliminar en la que se encuentra dibujada ya la parte de topografía levantada por secciones, la configuración general del terreno, dibujando los accidentes más notables que lo caracterizan y poniendo todos los datos y detalles que vengán á complementar el plano de la zona que se estudia.

CONSTRUCCIÓN DEL PLANO.

Tan pronto como se ha terminado el levantamiento topográfico de la zona que se estudia, se tienen ya los elementos suficientes para proceder al dibujo del plano.

Siendo la línea preliminar la base de las operaciones, se procede desde luego á su construcción en el plano, empleando un buen transportador para tomar los rumbos y usando la escala de 1 : 2.000 para expresar las magnitudes lineales.

Con objeto de disminuir la propagación angular inherente á la construcción de un levantamiento á rumbo y distancia es conveniente colocar al transportador en el centro del papel, perfectamente orientado, valiéndose de dos líneas perpendiculares entre sí, cuya dirección representa la de los rumbos cardinales y tomar de una vez por todas el mayor número de rumbos posible, que se van anotando al margen del transportador.

En seguida, y valiéndose de las escuadras, se van transportando estas direcciones y tomando sus magnitudes respectivas á la referida escala. Se entinta esta línea con azul, poniendo en los puntos de inflexión un triangulito y el número que en el terreno corresponde á la estaca; teniendo además cuidado de marcar con pequeñas líneas transversales las estacas, con el objeto de evitar equívocos en las operaciones posteriores.

Estando ya de esta manera dibujada la preliminar, se construyen las secciones transversales hechas en el levantamiento topográfico, tomando sus rumbos con transportador sencillo. Luego, valiéndose de un doble decímetro bien dividido, se tomán las distancias al punto de partida de la sección, que, como se recordará, para este objeto se van sumando en el registro de campo. Suponiendo que el límite de apreciación fuera el $\frac{1}{10}$ de milímetro, equivaldrá en el terreno á una diferencia correspondiente de 0.^m20.

Todos los puntos se numeran según las curvas que representan.

La línea preliminar estando nivelada es una verdadera sección del terreno, hay necesidad por consiguiente de utilizarla y al objeto consultando el perfil, que como se recuerda está construido en distancia horizontal á la misma escala del plano $\frac{1}{2000}$, y en elevación al décuple $\frac{1}{200}$, en él se verán con facilidad los puntos de intersección de las curvas de nivel, pases con el terreno y las distancias horizontales correspondientes.

No queda luego sino unir todos los puntos que tienen la misma altura sujetándose á los croquis, y dando á las curvas la forma necesaria para imitar en cuanto sea posible los accidentes del terreno.

Casi siempre quedan fuera de las secciones espacios sin configurar y que el dibujante debe completar usando las indicaciones de los croquis, haciendo una configuración á ojo y siguiendo el sentimiento general de las curvas. Estas se entintan comunmente con sepia, poniendo las curvas que tienen indicaciones de 10 en 10 metros un poco más gruesas que las demás.

Los caminos, caseríos, cursos de agua, etc., también se marcan usando tintas convencionales; en fin, cuanto se crea útil ó de importancia para ilustrar el plano queda al arbitrio del dibujante ó configurador expresar, con más ó menos detalles los datos que sean útiles para los estudios subsecuentes y presen al conjunto, además, un aspecto agradable.

LOCALIZACIÓN.

IDEAS GENERALES.—PRIMERO EN EL PLANO.

El estudio de localización se basa y tiene por fundamentos esenciales: la dirección ó situación del estudio preliminar y la idea general de las pendientes que domine al trazo en cuestión.

Estas ideas generales que deben servir de guía y norma al que localiza, sufren modificaciones que dependen de la naturaleza del terreno, de las dificultades más ó menos grandes que presenta el mismo y de la necesidad urgente que hay de buscar la compensación en las terracerías y la ausencia de obras especiales que por su mismo carácter resultarían costosas.

Reflexionando en lo anteriormente dicho, se comprenderá que una línea de localización para ser buena, necesita apoyarse en una línea preliminar que satisfaga lo más posible á las exigencias ó á la idea general del trazo; pues de lo contrario resultaría que á poco andar, ambas líneas se apartarían ó diferirían demasiado; y siendo la zona próxima á la preliminar, la mejor estudiada, la que tiene sus accidentes mejor expresados y su configuración más aproximada que el resto, hay que aprovecharla y no apartarse demasiado de ella para no incurrir en errores quizá considerables.

El ingeniero que lleva el trazo preliminar debe, pues, al verificarlo, fijarse en las pendientes que aproximadamente lleva su línea, en la facilidad que habrá en lo sucesivo para enlazar por curvas sus alineamientos, en la manera más fácil de salvar los obstáculos naturales que se le presenten, y en fin, en todas aquellas circunstancias aprovechables que faciliten el trabajo de localización, haciendo de su preliminar casi una localizada; es decir, que en el estudio posterior del cual voy á tratar, ambas líneas casi se confundan, se presten mutuo apoyo, separándose lo menos posible.

Si la idea general que ha dominado en el trazo es la de subir, ó al contrario, la de descender, ó bien una combinación de ambas, ascender para descender ó vice-versa, hay que perpetuarla, interrumpiéndola de vez en cuando por tramos á nivel, que sirven de descanso, evitando subidas ó bajadas quizá inútiles y que no son convenientes para una explotación rápida y cómoda. Estos mismos tramos á nivel se usan, como es fácil recordar, para el establecimiento de estaciones; en las curvas de corto radio, para obtener la compensación buscada en los puntos de cambio de sentido en la pendiente, y en fin, en todos aquellos sitios que por su carácter de dificultad de ejecución y peligro subsecuente merezcan, la atención y vigilancia posterior de explotación.

Una línea preliminar que cumpla con estas condiciones esenciales, puede servir de base para un buen estudio de localización, pues no hace sino desarrollar, completar y mejorar las ideas que se han llevado en tal línea, ateniéndose y plegándose siempre á las condiciones generales prácticas y económicas de una buena construcción.

Tratando desde luego la cuestión de las pendientes, diré que en nuestro trazo se tomó por límite superior el 3 p ∞ . compensado y como la compensación depende directamente del radio mínimo de curvatura que se adopte y éste nunca fué inferior á ($R = 85^m07$, $G = 13^\circ 30'$) resulta, que para este caso límite y para curva de semejante radio, la pendiente fué de 2.19 p ∞ . como equivalente á una del 3 p ∞ . en alineamiento recto.

Los radios de curvatura tuvieron también su límite y en cuanto á las terracerías se procuró no tener sino excepcionalmente tajos de 10 á 12 metros, y solamente se proyectaron tales obras en aquellos lugares que por la constitución fácil de las rocas que lo constituían no presentaban dificultades serias de construcción.

Se procuró igualmente evitar los grandes puentes y viaductos.

Con estas nociones como base, se ve que el estudio de localización en el plano exige cierta atención y cuidado para satisfacer hasta donde sea posible con las anteriores exigencias. Se hacen generalmente varios proyectos de líneas, se construye el perfil de ellas, recorriéndolas con un compasillo, cuya abertura marque por ejemplo (cadenas de 10^m), apreciando á vista y valiéndose de las curvas del plano las distintas alturas de los puntos que sucesivamente se van tocando. Para hacer esta apreciación, se supone que la pendiente del terreno comprendida entre dos curvas es uniforme, lo cual no siempre es exacto; pero, para la formación de este perfil aproximado no hay error sensible al hacer tal suposición, pero este perfil sólo sirve para dar ligera idea sobre el relieve del terreno en esa línea.

De todos estos perfiles el que resulte con menos obra de terracería y en mejores condiciones de pendiente y curvatura, será evidentemente el que se elija, y una vez escogido se procede á su construcción formal en el plano, para lo cual los ángulos comprendidos entre los alineamientos que se adopten se miden valiéndose de los conocidos de la preliminar, y cuando esto no se pueda, midiéndolos directamente con transportador. Como esta medida resultaría sumamente defectuosa, casi siempre se supone el ángulo que se trata de medir entre dos alineamientos, igual al número exacto de grados y fracciones de grado que más se le aproxime.

En seguida y valiéndose de una serie de patrones de curvas recortados en cartón, se ve cuál de ellos es el que mejor conviene, calculando luego el valor de la tangente á la curva por la conocida relación.

$$T = R \operatorname{tg} \frac{1}{2} I.$$

en la que R es el radio de la curva que se adopte y que va á alojarse entre los alineamientos, é I el ángulo de intersección que estos forman y que acabamos de medir en el plano. (Fig. 8.)

Este ángulo de intersección I , que tratándose de dos alineamientos de la preliminar se confunde con la deflexión, es también igual al ángulo en el centro de la curva y una vez obtenido el valor de la tangente por la fórmula

anterior basta descontar este valor del número de la estaca del punto de inflexión, para obtener el correspondiente al punto inicial de la curva.

Este punto inicial se marca con las letras *P. C.* que significan punto de curvatura, y el final con *P. T.* que indica «punto de tangencia.»

Al hacer este trabajo de localización de curvas, debe también recordarse que los reglamentos vigentes prohíben el empleo de curvas inversas, y que entre curva y curva debe haber por lo menos un alineamiento de 20^m en vía angosta y más de 50^m en vía ancha.

En resumen se ve que una línea localizada consta de alineamientos rectos ó tangentes, enlazados por curvas circulares. La operación de la localización está sujeta únicamente á reglas muy generales, y su éxito depende: primero, del auxilio que le preste un buen estudio preliminar, y segundo, de la pericia, habilidad y buen ojo práctico de quien localice. Esta línea localizada se lleva luego al terreno y como casi siempre sucede, que por mejor estudiada que esté su topografía, se encuentran en este trazo algunas diferencias ligeras; vuelve á sufrir esta línea localizada ligeras correcciones, que se aprecian, repito, en el terreno mismo, y que después, y de una manera definitiva se asientan en el plano.

Antes de pasar á la descripción de esta operación en el terreno, recordaré, aunque muy ligeramente por ser bastante conocidos, los principios geométricos en que se funda el trazo de curvas circulares. De las varias maneras que hay de efectuarse esta operación, me referiré á lo más en uso, es decir, al trazo de curvas por el sistema de «deflexiones.»

Supongamos una curva circular *A. B. C.*..... enlazada en el punto *A* con un alineamiento *A N* y en el punto *D* otro alineamiento *D M.* (Fig. 9.)

Entre la cuerda $AB = c$, el ángulo en el centro *G* correspondiente y el radio *R* de la curva, existe la siguiente relación:

$$c = 2 R \operatorname{sen} \frac{1}{2} G.$$

Además, el ángulo *E A B* formado por la tangente y la cuerda y llamado «deflexión,» es igual á la mitad del ángulo en el centro subtendido por la cuerda y llamado *G* ó grado de la curva. Por consiguiente, si situados en el punto *A* trazamos un ángulo igual á $\frac{1}{2} G$, y en esta dirección medimos una cuerda *c* correspondiente, obtendremos un punto *B* de la curva. En seguida, y corriendo otro ángulo igual al anterior, medimos partiendo del punto obtenido *B*, la misma cuerda $BC = AB$ hasta la intersección con la nueva dirección *A C*, tendremos otro punto *C* de la curva. De esta manera con la misma cuerda *c* y la misma deflexión $D = \frac{1}{2} G$ podríamos obtener más puntos de la curva.

Como hemos visto en los alineamientos rectos, que éstos se encuentran marcados en el terreno por puntos, que distan unos de otros 20 metros; se ha convenido que en las curvas se siga esta misma disposición, y al efecto se supone esta cuerda de 20 metros. Al hacer esta convención se supone que la cuerda c se confunde con el arco que subtende ó que al menos con los radios de curvatura usados, la diferencia entre el arco y su cuerda casi no es sensible. Una vez admitida esta cuerda c como constante, para el trazo de todas las curvas, resta únicamente determinar sucesivamente los diversos valores de G para los cambios correspondientes de R en sus diversas magnitudes, lo cual se determina fácilmente de la anterior relación, despejando á

$$\text{sen } \frac{1}{2} G = \frac{c}{2R}$$

Los ingleses tabulan esta fórmula, dando á R diversos valores crecientes entre determinados límites; mas como en el campo se especula con la deflexión que es la mitad del grado y éste no resulta un número exacto siguiendo este procedimiento, es preferible suponer valores enteros á G y obtener los correspondientes de R que aunque no queden expresados en ^{números} enteros, en nada entorpecen la marcha de la operación y sí dan una idea muy aproximada y suficiente de la magnitud del radio que se está usando.

Despejando á R , queda

$$R = \frac{c}{2 \text{sen } \frac{1}{2} G}$$

Presento al final de este trabajo la tabulación de esta fórmula prolongada hasta curvas de radios muy cortos ($R = 28^m79 - G = 40^{\circ}00'$); trabajo que hice teniendo en cuenta su utilidad para el trazo de curvas en ferrocarriles de vía mínima.

Como muy raras veces sucede que la curva contiene un número entero de cuerdas ó cadenas de 20 metros, sino que en las más ocasiones acontece, que para llegar al punto final resta una pequeña fracción CD menor que 20 metros, hay que calcular la deflexión final CAD que corresponde á esta última cuerda, lo cual se hace de la manera siguiente: se calcula el desarrollo de la curva, suponiendo, como hemos dicho ya, confundidos las cuerdas con los arcos subtendidos, por la siguiente relación

$$n = \frac{I}{G},$$

que nos dará el número n de cadenas de 20 metros contenidas en el ángulo de intersección I . Multiplicado en seguida este número de cadenas y fracciones de cadena por 20, nos dará en metros el desarrollo de la curva, que sumado al valor del PC nos dará el del PT buscado. Conoceremos en seguida por diferencia, el valor de la cuerda CD en metros, y como conocemos también la deflexión por 20 metros, que es la mitad del grado G , una simple proporción nos dará el valor de la deflexión buscada CAD .

Para facilitar este cálculo y aun para fijar puntos intermedios de la curva á distancias menores de 20 metros, conviene calcular desde luego la deflexión por metro, tomando la vigésima parte de la deflexión $D = \frac{1}{2} G$ y considerando en seguida las deflexiones por 2, 3, 4....., etc., metros, como proporcionales á estas magnitudes.

Hasta aquí hemos supuesto que el trazo de la curva se ha verificado desde el punto A , pero muchas veces sucede que hay necesidad de cambiar el instrumento en un punto intermedio y entonces se procede como sigue: supongamos la curva A, B, C (fig. 10), y que partiendo del punto A se ha llegado hasta el punto B , no pudiéndose seguir el trazo desde A por encontrarse un obstáculo que impide la vista. Estando estacionado el instrumento en B , se notará por la inspección de la figura que el ángulo $E A B$ es igual al $E^{\prime} A B$ y éste igual á $M B N$; luego bastará visar el punto A en posición inversa, pasar luego á la directa y correr el ángulo $M B N$ igual á la "suma de las deflexiones corridas con anterioridad hasta el punto B ," para estar en la dirección $B N$ que es la tangente á la curva en el punto B . Estando ya en tangente es fácil seguir el trazo de la parte $B C$, como se hizo antes el de la parte $A B$.

— 26-I-919. —

LOCALIZACIÓN.

EN EL TERRENO.

Hasta aquí hemos dado una ligera idea del principio en que se funda el trazo de curvas; pasemos ahora á describir rápidamente algunos detalles de esta operación en el terreno.

Como esta línea tiene un carácter más definitivo que la preliminar, los puntos que la indiquen en el terreno deben estar más próximos y estar á la vez en condiciones mucho mejores de estabilidad y duración.

Las estacas se colocan de diez en diez metros, en terrenos ligeramente quebrados, poniendo los números con pintura roja en la cara de la estaca que mira á un observador que recorre el trazo. En los $P C$ y $P T$ lo mismo que en los puntos de cambio de instrumento se colocan estacas grandes de sección circular, sobre las cuales se marca con una tachuelita, el punto en que se verificó la coincidencia con la extremidad de la valiza. Estos puntos conviene tenerlos fijos de posición, abrigados y á la vez fáciles de hallarse; se concilian estas circunstancias de la manera siguiente: la estaca redonda tan luego como está bien sumergida y con su punto marcado con tachuela, se cubre con una estaca común colocada de plano, en cuya cara inferior va inscrita la numeración que corresponde al $P C$ ó $P T$ y en seguida se cubre perfectamente con tierra que se saca, haciendo cuatro hoyos en cruz al derredor del punto y que sirven para encontrarlo con facilidad. Las estacas de cambio de instrumento son también redondas, se entierran enteramente y al lado de ellas se coloca una estaca común que lleva la numeración correspondiente.

Antes de salir al campo conviene llevar anotados, en una hojita de block, todos los datos relativos al trazo de curvas, tangentes, desarrollos, valores de los PC y PT correspondientes; haciendo un ligero croquis que facilita mucho la operación.

Presento el registro adjunto que pertenece á un tramo de línea localizada del ferrocarril de San Marcos á Nautla, para que se vea una de las maneras propias y adecuadas de disponerlo.

FERROCARRIL DE SAN MARCOS Á NAUTLA.				RUMBOS.		
Estaciones.	Distancias.	Grados.	Ang. de Inters.	Obscr.	Calc.	Notas.
$P T$ 8140+7.03	38 ^m 50	2-10			S 36°53' W.	Enero 17-95.
$P C$ 8136+8.80	105 ^m 22	4°00' I.	7°42' I.			
8129⊙	73, 28					
$P T$ 8126+3.58	28 73	6-65			S 44°30' W S 44°35' E.	
8123⊙						
$P C$ 8119+0.30	130 ^m 30	13°30' D.	49°28' D.			
8115+8⊙						
$P T$ 8106+0.00	134 ^m 74	5.65			S 5°00' E S 4°53' E.	
8102⊙						
$P C$ 8092+5.26	214 ^m 50	11°30' D.	77°28' D.			
8085⊙						
$P T$ 8071+0.76	524 ^m 47				S 82°30' E S 82°21' E.	
8032⊙	353, 70	1-25'				
$P C$ 8018+6.29	553 ^m 70	2°50' D.	74°18' I.			
7992⊙						
$P T$ 7983+2.59	216 ^m 46.				S 8°00' E S 8°03' E.	
7994⊙						
7970⊙		1-25'			S 27°00' E S 26°52' E.	
$P C$ 7961+6.13	154 ^m 17	2°50' D.	30°40' D.			
$P T$ 7946+1.96	210 ^m 46				S 39°00' E S 38°43' E.	
7936⊙		3-35'			S 75°30' E S 75°16' E.	
$P C$ 7925+1.50	286 ^m 58	7°10' D.	75°25' D.			
7906⊙						
$P T$ 7896+5					N 65°52' E	

Como vemos, en la columna de estaciones se anotan cuidadosamente los PC y PT ó $PC C^*$ lo mismo que los puntos de cambio de instrumento, señalándolos con su marca especial ⊙

Las distancias se anotan considerándolas por partes: las tangentes y el desarrollo de las curvas, desarrollo que se calcula como dijimos con anterioridad.

Respecto á rumbos, la manera de anotarlos y compararlos es idéntica á la usada en el trazo preliminar; solamente añadiré que en las curvas, hay que combinar el rumbo de la tangente anterior con el doble de la deflexión corrida hasta el punto en el cual quiere hacerse la comprobación; de suerte que en realidad el rumbo que se observa es el de la tangente en dicho punto.

Al calcular las graduaciones del limbo correspondientes á las diversas deflexiones pueden presentarse dos casos curva á la derecha ó la izquierda. Si

* Puntos de curva compuesta ó de varios centros.

el instrumento empleado tiene como es común la graduación en el mismo sentido que las agujas de un reloj; no hay en el primer caso, sino sumar las deflexiones, según se van calculando; si al contrario se trata del segundo caso (curva á la izquierda) habrá sucesivamente que restarlas de 360° .

La siguiente curva, es á la derecha, y la presento para que se vea la disposición del cálculo:

CURVA Á LA DERECHA.

$$\begin{aligned} P C &= 8751 + 2.72 \\ G &= 12^\circ - 30' \\ I &= 63^\circ - 00' \\ \text{Deflexión total} &= 33^\circ - 00' \end{aligned}$$

$$\text{Desarrollo} = 105^m 60$$

$$P T = 8761 + 8.32$$

$$\text{Deflexión por 20 metros} = 6^\circ 15'$$

$$" \quad " \quad 10 \quad " = 3^\circ 07' 5$$

$$" \quad " \quad 5 \quad " = 1^\circ 33' 75$$

$$" \quad " \quad 1 \quad " = 0^\circ 18' 75$$

Estaciones.	Círculo.	Estaciones.	Círculo.
8751 + 5	0° - 42' 75 1° - 33' 75	8755 + 05 +5	13° - 12' 75 1° - 33' 75
8752	- 2° - 16' 50 1° - 33' 75	8756	- 14° - 46' 50 3° - 07' 5
8752 + 5	3° - 50' 25 1° - 33' 75	8757	- 17° - 54' 0 3° - 07' 5
8753	- 5° - 24' 00 1° - 33' 75	8758	- 21° - 01' 5 3° - 07' 5
8753 + 5	6° - 57' 75 1° - 33' 75	8759	- 24° - 09' 0 3° - 07' 5
8754	- 8° - 31' 50 1° - 33' 75	8760	- 27° - 16' 5 3° - 07' 5
8755	- 11° - 39' 00 1° - 33' 75	8761	- 30° - 24' 0
8755 + 5	- 13° - 12' 75	Deflex. total	= 33° - 00'
		Dif.	= 2° - 36'

$$\begin{array}{r} 15600 \quad | 18.75 \\ 6000 \quad | 8^m 32 \\ 3750 \\ 000 \end{array}$$

El valor del $P T$ se comprueba al hacer este cálculo, pues al llegar á la estaca 61 la deflexión que falta para llegar al $P T$ es igual á $2^\circ 36'$, que dividida por $18' 75$, que es la deflexión por metro, nos debe dar por cociente $8^m 32$, como se había obtenido antes para el $P T$. Por consiguiente, la manera de comprobar el $P T$ consiste: en calcular primero el desarrollo de la curva y sumarlo al valor del $P C$, obteniendo de esta suerte un primer valor; en seguida dividir la última deflexión por la deflexión por metro para encontrar como cociente el número de metros y fracciones que resta añadir al último punto fijado para obtener el segundo valor que debe igualar al primero.

Es más fácil calcular el desarrollo de la curva dividiendo la deflexión total (mitad del ángulo de intersección) por la deflexión por cadena de 10 metros (cuarta parte del grado) y de esta manera el cociente expresa en metros el desarrollo, evitando como ántes se indicó la multiplicación por 2.

El trazo general de curvas no presenta dificultad alguna, cuando se efectúa en terrenos que no tenga accidentes notables que lo interrumpen ó cuando se trata sencillamente de enlazar alineamientos ya conocidos de posición; mas en la práctica suelen presentarse algunos casos que en algo hacen variar las operaciones generales.

No es mi ánimo entrar en el estudio de todos y cada uno de los problemas que á este respecto pueden ocurrirse, se encuentran ya demasiado explicados en los numerosos manuales americanos del Ingeniero, como el Henck, Searles, Thrauwtwine, etc.; indicaré únicamente dos de los casos más comunes que suelen presentarse:

1º Interposición de un obstáculo.

2º Necesidad de alcanzar algún punto obligado.

1º—Si el obstáculo no es muy grande puede ~~fraguarse~~ fácilmente prolongando la tangente á la curva en el punto que se crea conveniente, calculando en seguida dicha tangente, correspondiendo á un ángulo central bastante grande para salvar el obstáculo. Estacionando en seguida el instrumento en la extremidad de la tangente, bastará mirar el punto de tangencia, correr en seguida un ángulo I' igual al que nos sirvió para el cálculo de la tangente y medir en esta dirección una distancia AB igual á la tangente calculada para obtener un punto B de la curva, desde el cual y visando A podrá continuarse el trazo fig. 11.

La tangente la calculamos, por la sencilla relación $T = R \operatorname{tg.} \frac{1}{2} I'$.

En ciertos casos puede resolverse esta misma cuestión de la manera siguiente:

Supongamos una curva A, B, C la cual se ha trazado con facilidad hasta un poco ántes del punto B , en donde se encuentra un obstáculo, pudiendo verse únicamente en la dirección AB (fig. 12). Mediremos el ángulo que forma esta dirección AB con la tangente en el punto A y para esta deflexión α calcularemos el valor de la cuerda AB por la relación

$$c = AB = 2R \operatorname{sen} \frac{1}{2} I'$$

$$\text{ó} \quad AB = 2R \operatorname{sen} \alpha$$

midiendo en la dirección de esta cuerda, su valor, encontrado por el cálculo de la fórmula anterior y haciendo luego en el punto obtenido B un ángulo ABO igual á α , estaremos en tangente á la curva y en posibilidad de seguir el trazo de la parte BC .

Tanto en este caso como en el anterior hay que calcular el desarrollo de la curva correspondiente al ángulo central empleado para obtener la numeración correspondiente al punto B .

Si el obstáculo por salvar fuese muy considerable, de suerte que aun las mismas tangentes prolongadas lo encuentren ó impida por completo visar cualquiera dirección se recurre al trazo de una curva concentrica de mayor ó menor radio á una distancia conveniente para salvarlo.

Esta curva puede trazarse de dos maneras diferentes: considerando constante el grado y calculando el valor de la nueva cuerda DE ó bien, haciendo el trazo de esta nueva curva con la misma cuerda AB y calculando el nuevo grado. De todas maneras es preferible el primer camino pues se tienen ya las deflexiones y solamente hay que modificar el valor de la cuerda, valor que es fácil de calcular, en los triángulos semejantes OED y OAB , por la relación

$$\frac{DE}{AB} = \frac{OD}{OA} = \frac{R'}{R}$$

$$DE = \frac{AB \cdot R'}{R}$$

designando por R' el nuevo radio que se adopte.

Una vez que se llega á un punto N conveniente, se deshace la operación, midiendo en la dirección del radio una distancia $NC = AD$ y obteniendo de esta suerte el punto C , cuya numeración es fácil de deducir, teniendo en cuenta el número de cuerdas trazadas en la curva auxiliar.

2º—Supongamos que hay necesidad de pasar por determinado punto que por esta razón recibe el nombre de obligado, circunstancia que acontece frecuentemente en el paso de acantilados, barrancas, escarpados, etc., puntos difíciles en los cuales no puede cambiar la línea de posición. Pueden presentarse 3 casos: el punto obligado está en alineamiento recto, es el PT , ó en fin, es un punto cualquiera de la curva, reduciéndose todos, como vamos á ver, á uno sólo y siendo su solución semejante.

Como el error que puede encontrarse ó que se encuentra realmente en la práctica, depende principalmente de la medida del ángulo de intersección que se mide aproximadamente en el plano, valiéndose de un transportador; en estos casos, en los que se necesita gran aproximación, la cuestión se reduce á medir en el terreno prolongando las tangentes ó alineamientos necesarios, el nuevo ángulo de intersección que va á usarse. Con este ángulo medido directamente en el terreno, se calcula el valor de la tangente $T = R \operatorname{tg} \frac{1}{2} I$ y se fija en el terreno mismo la posición exacta del PC , teniéndose entonces la plena seguridad de que la nueva curva que parta de él ó la tangente que le siga pasarán por el punto obligado.

Al hacer el cálculo de esta tangente nunca debe olvidarse que entre curva y curva de diverso sentido debe haber por lo menos un alineamiento de 20 metros y se deberá modificar el valor del ángulo de intersección hasta que esto se verifique.

La línea localizada necesita, después de su situación en el terreno, ser perfectamente nivelada como la línea preliminar, teniendo cuidado de anotar el nivelador la naturaleza del terreno que va atravesando, la importancia de los thalwegs, barrancas, cantiles, etc. que atraviesa su línea, situar los puntos que

crea necesarios para el buen conocimiento de su perfil, y en fin, reunir toda clase de datos que presten posteriormente indicaciones favorables de construcción.

Una vez dibujado el perfil, si la operación de localización ha sido bien ejecutada, debe éste presentar ventajas sobre el perfil preliminar, mejorando las deficiencias que en aquel se notaran.

Conviene en una columna especial colocar los datos de alineamiento *PC* y *PT*, grado y ángulo central de las curvas, lo mismo que las listas de las alturas del terreno y de proyecto, los tajos y terraplenes que vayan resultando, pues de esta manera el que localiza las pendientes, aunque lo hace en el perfil no pierde nunca de vista el alineamiento y puede proceder á la compensación de curvas en caso necesario.

Se da á estas listas la disposición siguientes:

PERFIL. ESPESORES.	PENDIENTES.					
	ALINEAMIENTOS.					
	TERRAPLENES.					
	TAJOS.					
	CONSTRUCCIÓN.					
	FORMACIÓN.					
	ESTACIONES.					
	KILOMETROS.					

Al emplearse curvas de radio corto debe tenerse en cuenta que el tren al entrar en una curva experimenta cierta resistencia y esta resistencia aumenta con la disminución del radio de la curva. Pues si una curva, de corto radio, sube á la vez con la pendiente que se haya asignado como límite superior de pendientes, habrá necesidad de disminuirla de tal manera, que el tren que pase por ella experimente la misma resistencia que si subiera en alineamiento recto y con la referida pendiente límite. A esta operación se le llama "compensación de curvas."

Como la compensación depende directamente de la resistencia que experimente un tren al entrar en las curvas, y ésta á su vez depende de causas demasiado complejas como velocidad, exfuerzo de tracción, etc.; hay que guiarse únicamente por las experiencias y datos experimentales deducidos últimamente, y al efecto, consigno la manera empírica de efectuar esta compensación.

A un ángulo central de 5 veces el grado de la curva se le multiplica un coeficiente que varía con la pendiente, reduciendo los minutos á fracciones de grado; y el producto, se rebaja de la pendiente que se haya elegido para la curva.

Pendientes.	Coeficientes.
½ á 1 por ciento.	0.018
1 á 1½ »	0.016
1½ á 3 »	0.014
3 en adelante.	0.012

En el Ferrocarril de Cuernavaca y Pacífico, siguiendo las ideas emitidas por Wellington en sus experiencias hechas en los Estados Unidos, la compensación se efectúa de la manera siguiente: rebajando “*siempre*” á la pendiente gobernadora 0.04 por cada grado de ángulo del número que represente el “Grado de la curva.”

Para aclarar esto pondré un ejemplo compensado de las dos maneras: supongamos una curva de 11°—30' de grado, y sea por ejemplo 2.50 por ciento la pendiente gobernadora.

Empleando el primer procedimiento procederíamos así:

$$\begin{aligned} \text{Pendiente compensada:} &= 2.50 - n \times 5 \times 11^\circ 30' = \\ &= 2.50 - n \times 5 \times 11.5 = \\ &= 2.50 - n \times 57.5 \end{aligned}$$

Como la pendiente gobernadora es de 2.50 por ciento, luego $n = 0.014$, sustituyendo queda: $\text{Pendiente} = 2.50 - 0.014 \times 57.5 = 1.70$.

Empleando el segundo procedimiento tendremos que rebajar 0.04 por grado en el ángulo que nos represente el “grado de la curva;” es decir, rebajaremos

$$11^\circ 30' \times 0.04 = 0.46$$

luego

$$\text{Pendiente compensada} = 2.50 - 0.46 = 2.04.$$

Se ve, por lo mismo, que el primer procedimiento desperdicia pendiente, comparada con el segundo.

Para finalizar lo relativo á compensación, pongo el siguiente artículo que pertenece al sabio ingeniero mexicano Sr. Leandro Fernández, que publicó á este respecto:

Compensación de curvas.

La resistencia de un tren moviéndose en una curva de radio ρ , cuyo plano tiene por pendiente general (i), con velocidad V , es designando por R la resistencia por tonelada de carga;

para velocidades cortas y 40 carros:

$$R = 0.09 V + 0.9 i + \frac{350.000}{\rho^2}$$

para velocidades grandes y 12 carros:

$$R = 0.09 V + 0.9 i + \frac{370.000}{\rho^2}$$

Con el auxilio de estas fórmulas ya se puede establecer la regla para la compensación en las curvas.

Si R_1 es la resistencia en el alineamiento i su pendiente, tendremos

$$R_1 = 0.09 V + 0.9 i,$$

Si R_2 es la resistencia en la curva de radio ρ y pendiente i'

$$R_2 = 0.09 V + 0.9 i' + \frac{350.000}{\rho^2}$$

$$\text{ó } R_2 = 0.09 V + 0.9 i' + \frac{370.000}{\rho^2}$$

según sea la velocidad.

Para que las resistencias sean iguales, es necesario que

$$0.9 (i - i') = \frac{350.000}{\rho^2} \text{ ó } \frac{370.000}{\rho^2}$$

ó que

$$(i - i') = \frac{350.000}{9 \rho^2} \text{ ó } \frac{370.000}{9 \rho^2}$$

según sea la velocidad.

La tabla siguiente da las diferencias de pendiente ($i - i'$) para diferentes radios, habiéndose añadido una columna para los ángulos de deflexión correspondientes á una cuerda de 100 pies.

Radio.	Ang. Deflx.	Primer caso. ($i - i'$).	Segundo caso. ($i - i'$).
1,000	1°45'	0.0004	0.0004
900	1°58'	0.0005	0.0005
800	2°11'	0.0006	0.0006
700	2°30'	0.0008	0.0008
600	2°55'	0.0011	0.0011
500	3°30'	0'0016	0.0016
400	4°22'	0.0024	0.0026
300	5°50'	0.0043	0.0046
300	8°45'	0.0097	0.0103
100	17°33'	0.0389	0.0411

Esta tabla demuestra que para radios que excedan de 200 á 300 metros, no vale la pena establecer la compensación; pero para los que no llegan á esa cantidad la compensación es de suma importancia. Para 100 metros de radio la resistencia equivale á una pendiente del 4 por ciento (Leandro Fernández).

Tan luego como están localizadas las pendientes en el perfil de la línea localizada, se procede al cálculo de las alturas de proyecto, para que después combinadas con las obtenidas en la nivelación directa del terreno, nos den como resultado los espesores; es decir, la magnitud de los tajos y terraplenes.

Para facilitar este cálculo, se calculan primero las diversas alturas por tramos de 100 en 100 metros; después éstos se subdividen en tramos de 10, inscribiéndose igualmente sus elevaciones y finalmente se calcula la diferencia por metro, que servirá únicamente para las estacas que tengan numeración no completa.

De esta manera se comprueban los resultados y se notan con facilidad los equívocos.

Tomemos una parte del perfil de construcción en el kilómetro 79 del Ferrocarril de San Marcos á Nautla. En la estación 7,830 la altura del proyecto es de 2,308^m. 214 y se comienza á subir con una pendiente de 0.70 por ciento hasta la 7,850, en la cual sigue el trazo á nivel. Calculemos las alturas intermedias, es claro que siendo la pendiente de 0.70 por ciento, las estacas 40 y 50 tendrán respectivamente por alturas 2308.914 y 2309.614. Por 10 metros corresponderá una diferencia de 0.07 y finalmente por 1 metro 0.007. Teniendo todas estas alturas de proyecto, se combinarán con las alturas correspondientes del terreno para obtener los tajos y terraplenes.

Respecto á la compensación en las terracerías, diré que ésta debe procurarse siempre al proyectar las pendientes, aunque no es necesario en nuestro país llevarla con la precisión que en Europa, debido al poco valor que en general tienen las tierras, dándose en muchas ocasiones el caso de tomar la tierra que falte para la conclusión de un terraplén del terreno mismo á un lado de la vía, haciendo una ó más zanjas de préstamo mejor que transportarla del tajo ó tajos próximos.

APÉNDICE.

LIGEROS DATOS SOBRE CONSTRUCCIÓN.

Conociendo ya todas las alturas de proyecto y por consiguiente la magnitud de las terracerías, para proceder á la ejecución de las mismas, hay que inscribir el valor de los tajos y de los terraplenes en el terreno mismo, al lado de

cada estaca en el lugar correspondiente. Estos números se escriben sobre estacas que se colocan en dirección normal á las del trazo y al lado de ellas, usando el color azul para los números que expresen terraplen y rojo para los que indiquen tajo.

Esto es refiriéndome á las estacas del centro de la línea; en cuanto á las laterales que deben definir la obra y que adelante diré los medios usados en su colocación, no llevan más inscripción que una T cuando se trata de terraplenes y una C cuando se trate de tajos, usando la misma disposición en los colores.

Cuando se trate de las estacas de centro y á las que primero me he referido, conviene llevar al campo y tomando los datos del perfil definitivo, en la forma siguiente, la lista de las alturas y espesores relativos.

Estaciones.	ELEVACIONES.			
	Terreno.	Proyecto.	T.	C.
7745	2300.59	2301.419	0.83	
7746	2301.27	2301.42	0.15	
7747	2301.94	2301.42		0.52
7748	2301.23	2301.42	0.21	
7749	2302.06	2301.42		0.64
7750	2304.29	2301.42		2.87
7751	2304.48	2301.57		2.91
7752	2304.97	2301.72		3.25
7753	2304.07	2301.87		2.20
7754	2304.21	2302.02		2.19
7755	2307.07	2302.17		4.90
7756	2309.33	2302.32		7.01
7757	2309.83	2302.48		7.35
7758	2308.29	2302.63		5.66
7759	2306.19	2302.78		3.41
7760	2302.84	2302.93	0.09	
7761	2300.64	2303.08	2.44	
7762	2300.38	2303.23	2.85	
7763	2301.33	2303.38	2.05	
7764	2302.84	2303.53	0.69	
7765	2304.29	2303.68		0.61
7766	2304.11	2303.83		0.28
7767	2303.89	2303.99	0.10	
7768	2303.78	2304.14	0.36	
7769	2303.89	2304.29	0.40	
7770	2304.30	2304.44	0.14	
7771	2305.33	2304.59		0.74
7772	2305.92	2304.74		1.18
7773	2306.07	2304.89		1.18
7774	2305.91	2305.04		0.87
7775	2305.89	2305.19		0.70
7776	2305.69	2305.34		0.35
7777	2305.65	2305.50		0.15

En cuanto á las estacas laterales, hay dos sistemas para determinar los puntos en que deben situarse: el inglés y el americano. El primero consiste en hacer en el terreno el levantamiento de una sección ó perfil transversal en la estaca, que se quiere marcar, con sus laterales correspondientes. Estas secciones no muy extensas (12 á 15 metros de cada lado de la estaca son suficientes), se dibujan después á la escala de $0^m.005$ por metro y después teniendo en cuenta la cota del centro se construye el perfil de la obra proyectada, tajo ó terraplén. En el Ferrocarril de Nautla se les dió una base ó mesa á los terraplenes de $4^m.00$ y á los tajos una cama de $4^m.50$, usando diversos taludes, según la naturaleza del terreno. En terrenos tobáceos y ligeramente arcillosos, he visto usar con éxito para terraplenes el $1\frac{1}{2}$ por 1 que es aproximadamente el talud natural de estas tierras. En tajos de la misma especie, el $\frac{1}{2}$ por 1. En tierras un poco más consistentes, puede emplearse cómodamente para tajos el $\frac{3}{4}$ por 1, y en fin, en el tajo practicado en roca y situado entre los kilómetros 76 y 77 del mismo Ferrocarril de Nautla, los taludes no excedían de $\frac{1}{16}$ á un $\frac{1}{20}$ por 1. Cuando estos tajos son de cierta altura, pareceme conveniente ensancharlos un poco en su parte superior, empleando una pendiente menor con objeto de evitar derrumbes posteriores que podrían ser peligrosos.

Cuando se encuentra dibujado tanto el perfil del terreno, como el de la obra, ya es fácil ver en distancia horizontal cuál es la distancia de la estaca del centro á las laterales y pasar en seguida al terreno á situarlas.

Para el levantamiento de estas secciones se usa un registro análogo al empleado en el levantamiento de la topografía; y para mayor claridad, tomaremos algunas de las secciones hechas con tal objeto en el kilómetro 86 (Fig. 14).

Vemos que la única diferencia consiste en que los desniveles no van por curvas de dos en dos metros, sino que son variables según las inflexiones más notables del terreno en las que naturalmente se coloca el estadal; además, se van sumando ó restando, según el caso, de manera de obtener siempre el desnivel absoluto del punto en cuestión con relación al plano que pasa por la estaca del centro, lo cual facilita en gran manera el dibujo.

El procedimiento americano no necesita previo levantamiento y construcción de la sección, sino que directamente en el campo, haciendo uso de un estadal y de un nivel de Locke, pueden situarse con bastante rapidez las dichas estacas. Veamos en qué consiste:

Llamemos d_1 el desnivel del punto E_1 con relación al centro l ó estaca de línea, r la cota roja ó de proyecto, y supongamos que la pendiente del terraplén es p . La cota de proyecto sumada al desnivel d_1 y multiplicada por la pendiente (p), nos dará la cantidad $E_1 a$ y ésta sumada á la semi-mesa nos dará la distancia horizontal buscada al punto E_1 (Fig. 15).

Igualmente el desnivel d_2 del punto E_2 al punto l ó estaca de centro, restado de la cota roja (r) y multiplicado por la pendiente (p), nos da la cantidad

a E_2 , que sumada á la semi-mesa, nos da la otra distancia pedida. Por consiguiente, y estando situado en la estaca de centro, se manda poner aproximadamente el estadal en un punto que se crea es el que se busca, se determina luego el desnivel y se hacen con él las operaciones indicadas, comparando en seguida la distancia obtenida en este cálculo con la medida directamente; si la diferencia encontrada entre ambas no excede de $0^m.05$ á $0^m.10$, el punto es aceptable; mas en caso contrario se mandará acercar ó alejar el estadal según convenga, con la seguridad de que al segundo ó tercer tanteo se acierta al punto. Veamos el caso de un tajo (Fig. 16).

La cota roja sumada al desnivel d_2 y multiplicada por la pendiente (p) del talud, dará la distancia $a E_2$. El desnivel d_1 restado de la cota roja (r) y multiplicado por la misma pendiente (p), dará la distancia $E_1 a$. Ambas cantidades sumadas á la semi-cama ($2^m.25$ en nuestro caso) darán las distancias horizontales buscadas.

Para fijar mejor lo anterior, pongamos el siguiente ejemplo: se trata de poner la estaca inferior en la estación 7,762. La cota de terraplén en el centro, es de $2^m.85$, y supongamos que éste tiene un talud de $1\frac{1}{2}$ por 1 y que una vez hecho el primer tanteo encontramos para ese punto aproximado el desnivel $1^m.10$.

La operación se hará como sigue:

$$\begin{array}{r}
 \text{cota de terraplén, } 2.85 \\
 \text{desnivel } d_1 = 1.10 \\
 \hline
 \text{suma} = 3.95 \\
 \text{mitad} = 1.97 \\
 \hline
 \text{suma} = 5.92 \\
 \text{semi-mesa} = 2.00 \\
 \hline
 \text{distancia} = 7.92
 \end{array}$$

Midiendo la distancia al estadal se encontró ser $7^m.95$, la diferencia siendo de 0.03 el punto es aceptable. Si la distancia hubiera diferido una cantidad mayor, se movería el estadal convenientemente, se repetiría el cálculo con el nuevo desnivel, hasta encontrar como anteriormente un resultado satisfactorio.

El procedimiento americano, como se ve, es algo más laborioso en el campo, pero exige únicamente una sola estancia en el mismo para verificar la operación que por otra parte es muy sencilla y rápida; el inglés, en cambio, exige la construcción de los perfiles, aunque tiene la ventaja de que se posee un documento oficial para cualquiera duda que se presentase en lo sucesivo, y además, da las secciones de las terracerías dibujadas y dispuestas para el cálculo de su cubicación.

Como el cálculo de la cubicación de terracerías, es anterior á las demás fases de construcción que tocaré después ligeramente, por no alargar demasiado el presente trabajo, indicaré el procedimiento americano de cubicación de terra-

cerías que he visto usar con éxito y rapidez, y que parte únicamente de los datos tomados en la colocación de estacas laterales por el mismo procedimiento americano.

Pongamos un terraplén:

La superficie de sección será igual á (fig. 17) la de los triángulos que tienen por superficie $\frac{1}{2}ma$ y $\frac{1}{2}ma'$, más la de los que tienen $\frac{1}{2}rd$ y $\frac{1}{2}rd'$; será pues igual á

$$S = \frac{1}{4}m(a + a') + \frac{1}{2}r(d + d')$$

Las cantidades a y a' se obtienen combinando la cota roja con los desniveles extremos al poner las estacas laterales.

En el caso de tajo, tendremos: (fig. 18).

$$S = \frac{1}{4}c(a + a') + \frac{1}{2}r(d + d')$$

Este procedimiento en caso de una sección mixta con tajo y terraplén da resultados un poquito exagerados, como puede verse en las figuras siguientes: (figs. 19, 20 y 21).

Las partes hachuradas verticalmente, son las que resultan como excesos en el cálculo anterior, considerando este caso verdaderamente especial; de suerte que salvo pequeñas fracciones, que como en la primera figura pueden dar lugar á alguna compensación, en las demás los resultados obtenidos, haciendo uso de la fórmula anterior, pecan siempre por exceso y nunca por defecto. En terrenos que tengan pendientes uniformes ó no muy quebradas y variables, el método da resultados muy aproximados.

El registro para este cálculo podría disponerse de esta manera:

Est.	Cota Roja.	Derecha.		Izquierda.		$(a + a')$	$(d + d')$	Superficie.	
		a	d	a'	d'			T.	C.

Multiplicando en seguida $(a + a')$ por $\frac{1}{4}m$ y $(d + d')$ por $\frac{1}{2}r$ para los terraplenes y sumando ambos productos; $\frac{1}{4}c$ por $(a + a')$ y $\frac{1}{2}r$ por $(d + d')$ para los tajos, y adicionando también ambos valores, se tendrán ya las superficies totales que se escribirán en sus columnas respectivas, listas ya para poder emplearse con ellas el método de cubicación que mejor parezca.

El procedimiento general que vi emplear en la construcción de terraplenes, es el siguiente: se introducen en el terreno y en el lugar de cada estaca, ramos ó troncos que se eligen bien derechos y que tienen por altura la que piensa darse al terraplén que va á formarse; bastando luego, como se comprende fácilmente, rellenar con tierra hasta que la mesa alcance el nivel marcado por la punta del tronco.

Para los tajos se siguió un procedimiento inverso: las estacas se conservaron sobre cilindros ó conos formados por el mismo terreno, dándoles á estos conos ó cilindros la altura marcada en la estaca de centro (fig. 22).

Estos terronos cuando no tienen una altura exagerada pueden aprovecharse para fijar después en el lugar correspondiente la estaca que llevan en su parte superior. Para eso vi emplear un gran tripié de madera, cuya altura sería de 3^m á 3^m $\frac{1}{2}$ como máximo, cuyos pies abarcaban el mogote de tierra. Después estableciendo la coincidencia de la estaca, con una plomada que el referido tripié tenía en su centro, era fácil, quitando con cuidado la tierra, marcar después, valiéndose de la misma plomada, el lugar correspondiente de la estaca (fig. 22).

Este procedimiento imperfecto no se usa sino en casos de facilidad extrema; y tratándose de los puntos de verdadera importancia y que fijan la posición de la línea, su manera de referenciarlos es la siguiente: al colocar cotas de centro, el ingeniero que llega á un *P. C.* ó á un *P. T.* ó *P. C. C.*, estaciona su instrumento en él y fija dos alineamientos que próximamente se corten en ángulo recto. Estos alineamientos se fijan en el terreno con dos estacas cada uno, en las cuales se marca perfectamente el punto de la coincidencia con una tachuelita, y que se sitúan á una distancia conveniente para quedar fuera del alcance de las terracerías por hacerse.

Una vez construídas éstas, si se quiere volver á situar el *P. C.* ó *P. T.* en la vertical correspondiente, bastará situar el instrumento en cualquiera de las estacas fijadas para esta referenciación, visando luego la otra se tendrá ya la dirección de un alineamiento, alineamiento que se fijará á su vez, valiéndose de dos nuevas estacas colocadas muy cerca de la posición en que próximamente debe encontrarse el *P. T.* ó *P. C.* que se busca.

Esta misma operación repetida con el otro alineamiento, fijará la posición del punto buscado, pues una vez fijadas estas dos nuevas estacas que lo definen, bastará, valiéndose de dos hilos, determinar su intersección, desde la cual y con una plomada se determinará el punto exactamente.

Luego que estos puntos están fijados sobre las terracerías, se procede á retrazar la línea; y una vez verificado esto, se nivelan las estacas con objeto de completar las pequeñas diferencias y completar las alturas ó disminuirlas hasta hacerlas iguales á las cotas de proyecto. Pondré como ejemplo la nivelación siguiente, que forma parte de la nivelación practicada en la línea de construcción en el kilómetro 77.

Est.	Alturas.		Conecciones.	
	Proyecto.	Terreno.	T.	C.
7668	2299.18	2299.17	0.01	.....
7667	2299.18	2299.15	0.03	.....
7666	2299.18	2299.13	0.05	.....
7665	2299.18	2299.13	0.05	.....
7664	2299.18	2299.17	0.01	.....
7663	2299.18	2299.15	0.03	.....
7662	2299.18	2299.18	0.00	.....
7661	2299.18	2299.17	0.01	.....
7660	2299.18	2299.15	0.03	.....
7659	2299.18	2299.16	0.02	.....
7658	2299.18	2299.17	0.01	.....
7657	2299.18	2299.17	0.01	.....
7655	2299.18	2299.17	0.01	.....
7653	2299.18	2299.20	.....	0.02
7651	2299.18	2299.22	.....	0.04
7649	2299.18	2299.20	.....	0.04
7647	2299.18	2299.20	.....	0.02
7645	2299.18	2299.21	.....	0.02
7643	2299.18	2299.19	.....	0.03
7641	2299.18	2299.18	.....	0.00
7640	2299.18	2299.18	.....	0.00
7639	2299.18	2299.17	0.01	.....
7638	2299.18	2299.15	0.03	.....
7637	2299.18	2299.24	.....	0.06
7636	2299.18	2299.21	.....	0.03
7635	2299.18	2299.20	.....	0.02
7634	2299.18	2299.11	0.07	.....
7632	2299.18	2299.12	0.06	.....
7631	2299.18	2299.25	.....	0.07
7630	2299.18	2299.23	.....	0.05
7629	2299.19	2299.21	.....	0.02
7627	2299.22	2299.25	.....	0.03
7626	2299.23	2299.23	.....	0.00
7625	2299.24	2299.21	0.03	.....
7624	2299.26	2299.15	0.11	.....
7623	2299.27	2299.19	0.80	.....
7621	2299.30	2299.20	0.10	.....

Estas diferencias siempre que no sean muy notables, su corrección se queda para el calzado posterior de la vía.

Tan luego como las terracerías se encuentran practicadas, se procede inmediatamente al tendido de la vía.

Los durmientes que ví emplear en el Ferrocarril de San Marcos á Nautla, tenían las siguientes dimensiones: 2^m.50 de largo y una sección de 0.20 por 0.20, y se colocaban espaciados de 0.50 á 0.60 de separación, alineados del lado derecho en los alineamientos y del lado exterior en las curvas.

Este alineamiento de los durmientes se hace del lado llamado "cabeza del durmiente" que es el mejor cortado; sirve después para la colocación de los rieles, y al alinear el durmiente se debe tener cuidado que la distancia entre la cabeza de la estaca y el centro del tajo ó terraplén sea precisamente igual á la mitad del durmiente, es decir: $1^m.25$.

Como el calibre de la vía angosta es de $0^m.91$ ó tres pies ingleses, basta luego contar de la cabeza del durmiente la diferencia que hay entre el semi-largo del durmiente y la mitad del calibre, disminuída también del semi-ancho del patín, para tener el lugar exacto y correspondiente del lugar en que debe colocarse el riel (fig. 23).

De esta manera se obtiene la distancia $A B$, rayándola sobre el durmiente.

Se procura, además, que los durmientes queden en posición horizontal, tratándose de alineamientos ó tangentes; mas al entrar en las curvas puede suceder, si éstas son de corto radio, que haya necesidad de hacer lo que se llama peraltamiento del riel exterior, como indicaré luego y con objeto de contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga. Una vez clavado uno de los rieles, es fácil colocar el otro, conociendo el calibre y dándoles igualmente en las curvas la holgura conveniente al material rodante que se use.

Respecto al peraltamiento del riel exterior, recordaremos la razón en que se funda y la fórmula que sirve para calcularlo (fig. 24).

La componente que obra sobre un vehículo que se mueve en un plano cuya inclinación es (a) es $P \text{ sen } a$. En las curvas esta componente debe contrarrestarse con la fuerza centrífuga ó más bien ésta debe contrarrestarse con la inclinación del plano de la curva.

La fuerza centrífuga tiene por expresión

$$f = \frac{m v^2}{R}$$

que igualada á la componente anterior, da

$$\frac{m v^2}{R} = P \text{ sen } a = m g \text{ sen } a$$

puesto que el peso P del cuerpo es igual á su masa (m) por la aceleración g ; despejando á $\text{sen } a$, queda

$$\text{sen } a = \frac{v^2}{R g}$$

pero como

$$\text{sen } a = \frac{e}{a}$$

llamando e el peraltamiento y a el calibre de la vía; sustituyendo este valor, queda despejando al valor buscado e

$$e = \frac{a v^2}{R g}$$

Para la vía angosta, teniendo en cuenta la holgura en las curvas, el valor de a es casi igual á 1^m ; suponiéndole este valor, para e resulta

$$e = \frac{v^2}{Rg}$$

He tabulado la fórmula anterior suponiendo una velocidad máxima de 40 kilómetros por hora, dando á g el valor $g = 9^m.88$ y para curvas cuyo grado esté comprendido entre los valores 1° y 15° .

Tomando logaritmos, queda

$$2 \log. v - \log. g - \log. R = \log. e$$

pero

$$-\log. g + 2 \log. v = \text{constante} = 1.0966713;$$

luego substituyendo el valor de

$$2 \log. v - \log. g$$

nos quedará la fórmula siguiente, cuya tabulación presento al fin de este trabajo:

$$1.0966713 - \log. R = \log. e.$$

Este peraltamiento va disminuyendo como se ve una cantidad casi constante $0^m.0054$; y en curvas cuyo grado es inferior á 2° ó 3° , su valor es tan reducido que no vale la pena hacerlo. Hay dos maneras de repartir este peraltamiento y dos maneras de ejecutarlo prácticamente: puede repartirse por mitades entre los dos rieles, ó bien, lo que es más fácil y que comunmente se hace, peraltar con todo su valor el riel exterior.

Para ponerlo en práctica puede rebajarse el durmiente interno, el valor del peraltamiento, ó bien darle este valor, calzando el durmiente del lado externo. Al calzar el durmiente y para saber el momento en que la operación está terminada, se hace uso de reglas escalonadas que llevan un nivel de burbuja en su cara superior, y que estando en posición horizontal el nivel, las diversas líneas que unen uno de los apoyos con los diversos escalones, toman sucesivamente las inclinaciones correspondientes á los peraltamientos requeridos en las diversas curvas * (fig. 23).

Una vez efectuado el clavado completo de los rieles y verificado la rectificación del calibre por medio de un patrón conveniente, no resta sino balastrar la vía, valiéndose de materiales permeables y resistentes como escorias, basaltos, etc., que sirven para proteger el durmiente y el terraplén mismo. No

(*) Como regla empírica muy usada para encontrar el valor del peraltamiento, he visto usar al siguiente:

Via ancha.—Se toma una cuerda = $1.587 V$, en la cual V es la velocidad en millas y la flecha del arco subtendido por esta cuerda, es el valor del peraltamiento en pulgadas.

Via angosta.—La fórmula es análoga, cuerda = $1.25 V$.

debe también olvidarse que al clavar los rieles debe dejarse un pequeño espacio entre uno y otro, para prever las deformaciones que sobrevendrían por el calor en el caso de que no hubiera dicho juego.

Para esto se hace uso de pequeñas piecitas metálicas llamadas "palomas" en forma de escuadras de hierro ó de T, y que se colocan entre riel y riel á la hora del clavado y unión entre los mismos (fig. 26).

Para terminar estos ligerísimos apuntes de construcción, presento la sección del riel, las placas de unión, pernos, etc., usados en el Ferrocarril de Nautla, advirtiendo que el riel tenía un peso de 40 ~~libras~~ por yarda (fig. 27).

libras.

Respecto á las numerosas obras de arte que se presentan en la ejecución de un ferrocarril, nada indico, pues es evidentemente cuestión de otro estudio distinto del presente; me limitaré á señalar el sistema de puentes provisionales americanos, que es el más usado para salvar provisionalmente los claros, aun de ciertas dimensiones y aun para la formación de grandes terraplenes.

Me referiré á un ejemplo, describiendo el que vi poner en el kilómetro 75 y entre las estaciones 7449 + 5 y 7455 + 5.

El terraplén proyectado para ejecutarse en esta parte, tiene como altura máxima 7^m.20.

El claro por salvar, es, como se ve, de 60^m, mas avanzando los terraplenes de uno y otro lado se redujo muchísimo, quedando como claro final 15 metros, distribuídos poco más ó menos de la manera siguiente. (fig. 28):

Los burros americanos constan de las piezas siguientes: un cabezal descansando en sus extremidades sobre dos pies derechos que á su vez descansan en una solera.

Con objeto de hacer indeformable el sistema y de hacer más rígido el conjunto, se colocan unas tornapuntas laterales que partiendo igualmente de las extremidades del cabezal, descansan en la solera. Véase el croquis adjunto que da idea de la disposición general (fig. 29).

Las dimensiones de las piezas empleadas, fueron las siguientes: 0^m.28 por 0^m.28 de sección y las alturas de los cuatro burros sucesivamente:

8^m.512

8^m.437

8^m.327

7^m.607

Estas alturas se obtuvieron por diferencia entre las alturas de proyecto y las alturas del fondo de las cepas, efectuadas con objeto de colocar los burros. La nivelación practicada con este objeto, dió para el fondo de las cepas las alturas siguientes:

1 ^a cepa,	2310 ^m .878.	Alturas de proyecto —	2319 ^m .390
2 ^a »	2310 ^m .863.	» » »	— 2319 ^m .300
3 ^a »	2310 ^m .883.	» » »	— 2119 ^m .210
4 ^a »	2311 ^m .513.	» » »	— 2319 ^m .120

Rebajándoles todavía el peralte de la trabe, más 0.20 del durmiente, es decir, un total de 0^m.48 quedan las alturas finales de los burros.

8^m.032

8^m.017

7^m.847

7^m.227

Las cepas fueron rectangulares de 1^m.50 de profundidad y en el fondo de las mismas se colocaron medios durmientes de 0.20 por 0.20 de sección, colocados normalmente á la solera con objeto de repartir uniformemente la presión.

La profundidad de estas cepas depende de la naturaleza del terreno en que se practican, en el caso á que nos referimos, el terreno era demasiado resistente (arcilla compacta y toba pomosa) y se ahondaron hasta encontrar el terreno firme.

Una vez colocados y nivelados los burros se consolidaron poniéndoles piezas transversales de contra-venteo, como se ve en el croquis adjunto.

Como los terraplenes cargaban directamente sobre los burros laterales, con objeto de que no se fatigaran con este exfuerzo, se ligaron los cuatro burros por medio de piezas horizontales (a) (a) que con ligeras entalladuras enmuescaban los pies derechos, haciéndolos solidarios y repartiendo el empuje de las tierras sobre el conjunto unido de este modo (fig. 30).

CÁLCULO DEL PUENTE.

1º *Trabe*.—Para el cálculo de la trabe, supondremos que en el claro que es 3 metros caben como un máximo 2 ejes de locomotora, y recordemos que, según el teorema de Cullman, el momento máximo será cuando los ejes estén igualmente distantes del centro é igual al producto de uno de los pesos por su distancia á su extremo próximo.

De suerte que en la figura adjunta (fig. 31), designando por $2P$ el peso que carga sobre uno de los ejes y (a) su distancia al apoyo próximo, el momento máximo será Pa siempre que $a = a'$ y $P = P'$. Las trabes empleadas tenían por sección las dimensiones siguientes: 0^m.23 por 0^m.28, su momento de resistencia sera igual á

$$\frac{RI}{n}$$

é igual al flexionante Pa . Verifiquemos esta igualdad con los datos anteriores y tendremos

$$\begin{aligned} \text{Momento flexionante: } 7,000^k \times 0^m.50 &= \\ &= 350,000 \end{aligned}$$

Suponiendo que cada eje cargue 14,000^k y teniendo como unidades el kilo y el centímetro.

$$\begin{aligned}\text{Momento de resistencia} &= \frac{R I}{n} = \frac{60 b h^2}{6} = 10 b h^2 \\ &= 10 \times 0.23 \times (0.28)^2 = \\ &= 180.320\end{aligned}$$

Como se colocaron dos traves de las mismas dimensiones, el momento de resistencia será doble del anterior, es decir,

$$\begin{aligned}\text{Momento de resistencia} &= 360.640 \\ \text{„ flexionante} &= 350.000 \\ \hline \text{Diferencia} &= 10.640\end{aligned}$$

Es decir, el momento de resistencia mayor que el flexionante.

Para determinar el exceso de resistencia del conjunto, busquemos las dimensiones de la viga, satisfaciendo á la ecuación general:

$$\begin{aligned}\frac{R I}{n} &= P a \\ \frac{60 b h^2}{6} &= 10 b h^2 = 10 b (0.28)^2 = 350.000\end{aligned}$$

de la cual $b = 0^m.45$. Para saber qué fuerza ha producido este momento (10.640), lo dividiremos por la distancia ($0^m.50$), es decir, 212^k .

Como se ve perfectamente, las dos traves colocadas bajo cada riel, una al lado de otra, son suficientes, sin tener en cuenta que el momento de inercia de la trave, durmiente y riel, hechos solidarios por el peso del tren y por los clavos de unión, aumenta considerablemente, y por lo tanto el momento de resistencia del conjunto.

2º *Paral.*—Como esta pieza en los diversos burros no excede de $8^m.00$ y casi se acerca á este valor, lo tomaremos como longitud máxima para el cálculo de esta pieza.

La fórmula para calcular una pieza comprimida en sus extremidades, es

$$w = \frac{N \left(1 + 0.006 \left(\frac{l}{h} \right)^2 \right)}{R}$$

En nuestro caso

$$\begin{aligned}N &= 7,000^k \\ R &= 60 \\ l &= 8,00 \\ h &= 28\end{aligned}$$

$$w = \frac{7,000 \left(1 + 0.006 \left(\frac{l}{h} \right)^2 \right)}{60} = 685^c$$

$$\frac{w}{h} = b = \frac{685}{8.28} = 0^m.24$$

Estas piezas tienen en el proyecto á que me refiero $0^m.23$ por $0^m.28$, pero como tienen una extremidad hundida en el suelo $1^m.50$, disminuye muchísimo la longitud y aumenta la resistencia. Además, las tornapuntas empleadas en estos sistemas de burros, aunque no cargan ningún peso vertical, sirven para dar estabilidad al conjunto y contrarrestar los empujes horizontales del movimiento del tren.

Estas ideas tan generales que han servido de tema en el presente estudio para su desarrollo, son muy limitadas y apenas sirven para darse cuenta de las múltiples operaciones que se efectúan en un trazo y su ejecución. Como un complemento á ellas pongo en seguida las siguientes tablas: la de "Gradas de curvatura" que prolongué hasta el Grado 40°00' y la de "peraltamientos del riel exterior en las curvas."

Grados de curvatura para cuerdas de 20 metros.

Grado.	Radio.	Grado.	Radio.	Grado.	Radio.	Grado.	Radio.
	m.		m.		m.		m.
0°05'	13.750.98	3°45'	305.63	8°50'	129.85	16°10'	71.11
10	6.875.47	50	298.99	9°00'	127.45	20	70.39
15	4.583.67	55	292.63	10	125.14	30	69.79
20	3.437.75	4°00'	286.54	20	122.91	40	68.99
25	2.750.20	05	280.69	30	120.75 #46	50	68.32
30	2.291.83	10	275.08	40	118.68	17°00'	67.66
35	1.964.43	15	269.69	50	116.68	10	66.93
40	1.718.88	20	264.51	10°00'	114.74	20	66.36
45	1.527.89	25	259.52	10	112.86	30	65.73
50	1.375.11	30	254.71	20	111.05	40	65.12
55	1.250.10	35	250.09	30	109.29	50	64.51
1°00'	1.145.93	40	245.62	40	107.59	18°00'	63.92
05	1.057.78	45	241.31	50	105.93	30	62.21
10	982.23	50	237.16	11°00'	104.33	40	61.65
15	916.75	55	233.14	10	102.87	50	61.12
20	859.45	5°00'	229.26	20	101.27	19°00'	60.58
25	808.90	05	225.50	30	99.81	10	60.06
30	763.96	10	221.87	40	98.39	20	59.55
35	723.76	15	218.35	50	97.01	40	58.55
40	687.57	20	214.94	12°00'	95.66	20°00'	57.58
45	654.83	25	211.63	10	94.36	20	56.65
50	625.07	30	208.43	20	93.09	40	55.75
55	597.87	35	205.32	30	91.85	21°00'	54.87
2°00'	572.99	40	202.30	40	90.65	20	54.02
05	550.07	45	199.37	50	89.47	40	53.20
10	528.92	50	196.53	13°00'	88.34	22°00'	52.41
15	509.33	55	193.73	10	87.22	10	51.77
20	491.14	6°00'	191.07	20	86.14	20	51.39
25	474.22	10	185.91	30	85.07	30	51.01
30	458.40	20	181.03	40	84.04	40	50.64
35	443.62	30	176.39	50	83.03	50	50.27
40	429.76	40	171.94	14°00'	82.05	23°00'	49.90
45	416.74	50	167.79	10	81.09	10	49.55
50	404.48	7°00'	163.80	20	80.15	20	49.20
55	392.93	10	160.00	30	79.23	30	48.85
3°00'	382.02	20	156.37	40	78.34	40	48.51
05	371.69	30	152.90	50	77.47	50	48.17
10	361.91	40	149.58	15°00'	76.61	24°00'	47.83
15	352.64	50	146.40	10	75.77	10	47.51
20	343.82	8°00'	143.36	20	74.95	20	47.18
25	335.44	10	140.44	30	74.15	30	46.86
30	327.46	20	137.63	40	73.37	40	46.55
35	319.84	30	134.94	50	72.67	50	46.23
40	312.58	40	132.36	16°00'	71.63	25°00'	45.92

Grado.	Radio.	Grado.	Radio.	Grado.	Radio.	Grado.	Radio.
	m.		m.		m.		m.
25°10	45.62	27°10'	42.28	29°30'	38.95	35°30'	32.41
20	45.33	20	42.02	30°00	38.31	36°00'	31.96
30	45.03	30	41.77	30	37.68	30	31.53
40	44.74	40	41.52	31°00'	37.08	37°00'	31.11
50	44.45	50	41.27	30	36.49	30	30.70
26°00	44.17	28°00'	41.03	32°00'	35.93	38°00'	30.29
10	43.89	10	40.79	30	35.38	30	29.90
20	43.61	20	40.55	33°00'	34.85	39°00'	29.52
30	43.34	30	40.31	30	34.33	30	29.15
40	43.07	40	40.08	34°00'	33.83	40°00'	28.79
50	42.80	50	39.85	30	33.34	.....	.....
27°00	42.54	29°00'	39.62	35°00'	32.87	.....	.....

Radio = 30^m.00

Grado = 38° -22' -34".4

—————

Tabla de peraltamientos.

—————

Velocidad, 40 kilómetros por hora.

Vía angosta, 3'.

Radio.	Grado.	Peraltamiento.	Flechas.	Diferencia.
76.61	15°00'	0.1630	0.656	0.0054
79.23	14°30'	0.1576	0.634	0.0054
82.05	14°00'	0.1522	0.611	0.0054
85.07	13°30'	0.1468	0.589	0.0054
88.34	13°00'	0.1414	0.569	0.0054
91.85	12°30'	0.1360	0.549	0.0054
95.66	12°00'	0.1306	0.524	0.0055
99.81	11°30'	0.1251	0.502	0.0054
104.33	11°00'	0.1197	0.480	0.0054
109.29	10°30'	0.1143	0.459	0.0055
114.74	10°00'	0.1088	0.437	0.0054
120.76	9°30'	0.1034	0.414	0.0054
127.45	9°00'	0.0980	0.392	0.0055
134.94	8°30'	0.0925	0.371	0.0054
143.36	8°00'	0.0871	0.350	0.0054
152.90	7°30'	0.0817	0.327	0.0055
163.80	7°00'	0.0762	0.306	0.0054
176.39	6°30'	0.0708	0.284	0.0055
191.07	6°00'	0.0653	0.262	0.0055
208.43	5°30'	0.0599	0.640	0.0054
229.26	5°00'	0.0544	0.218	0.0054
254.71	4°30'	0.0490	0.196	0.0055
286.54	4°00'	0.0436	0.175	0.0054
327.46	3°30'	0.0381	0.154	0.0055
382.02	3°00'	0.0327	0.130	0.0054
458.40	2°30'	0.0272	0.100	0.0055
572.99	2°00'	0.0218	0.086	0.0054
763.96	1°30'	.....	.....	.....
1145.93	1°00'	.....	.....	.....

Las flechas son para cuerdas de 20 metros.

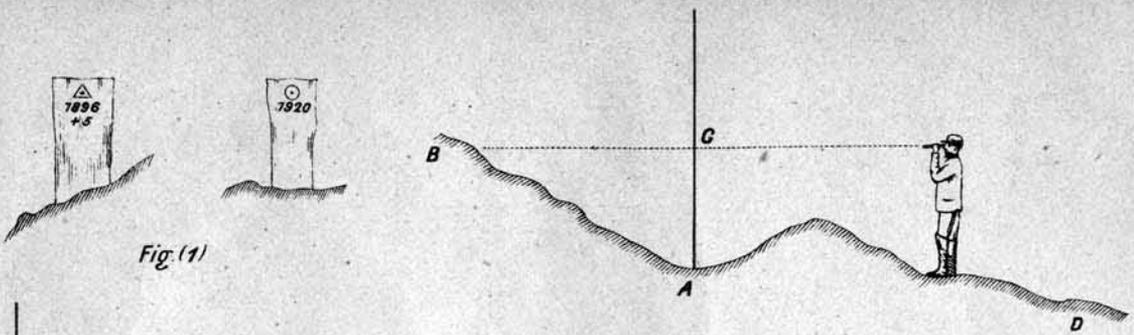


Fig. (1)

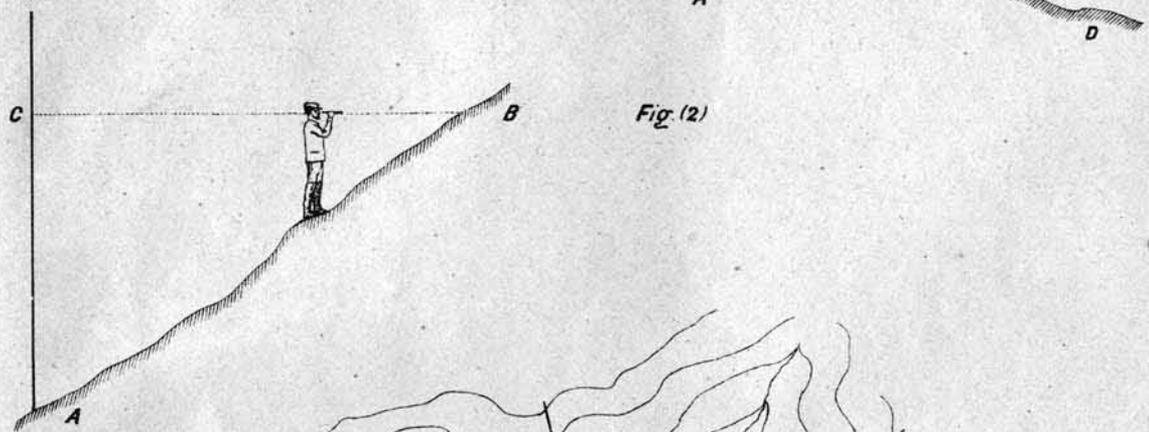


Fig. (2)

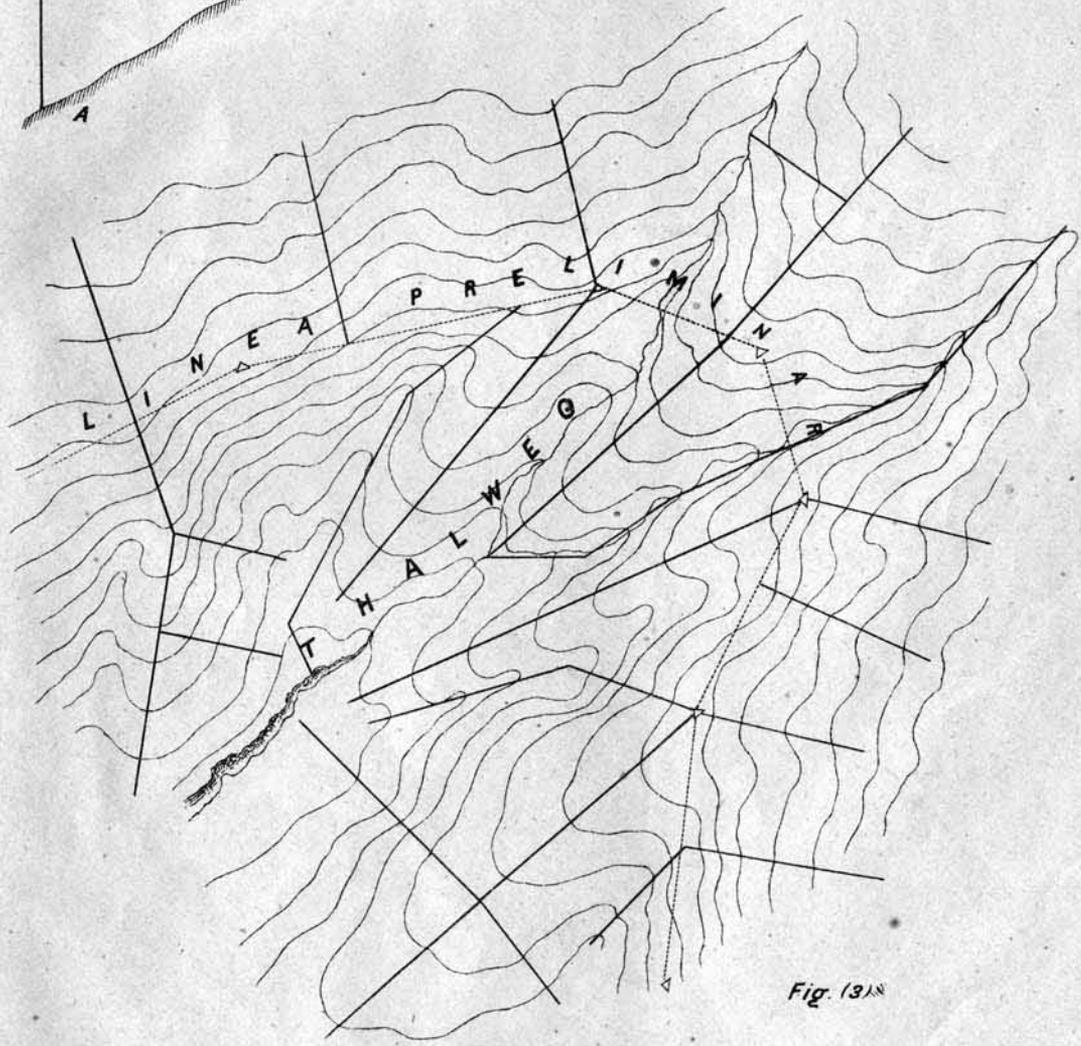
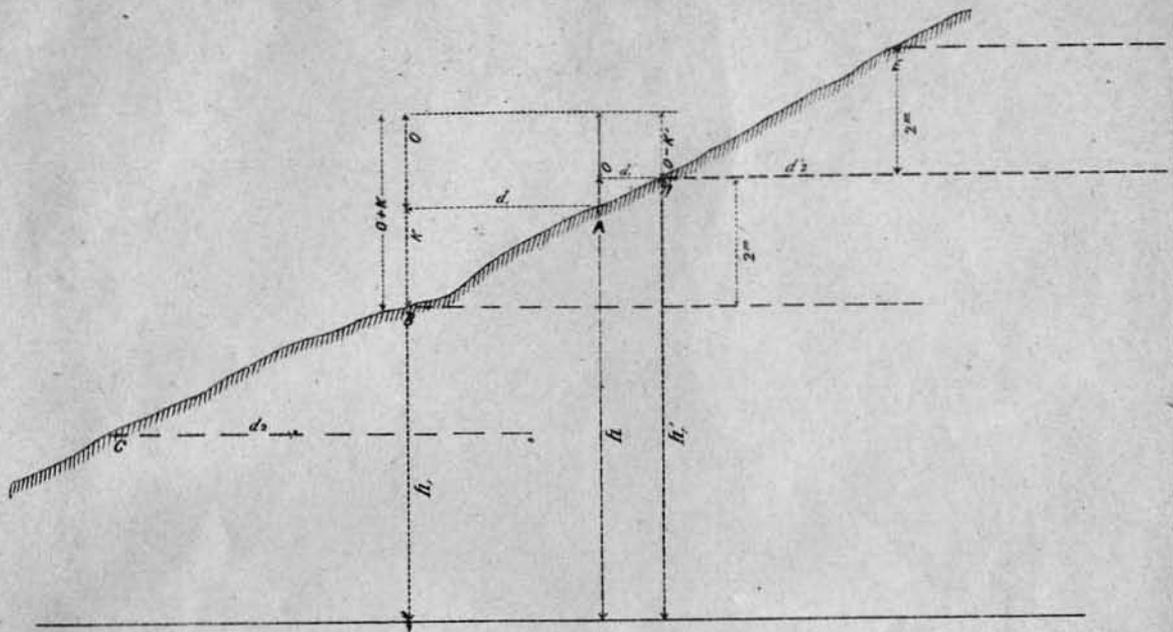


Fig. (3)

----- LINEA PRELIMINAR.
 _____ SECCIONES.

70
18



PLANO DE COMPARACION.

Fig. (4)

EJE DEL LIBRO.

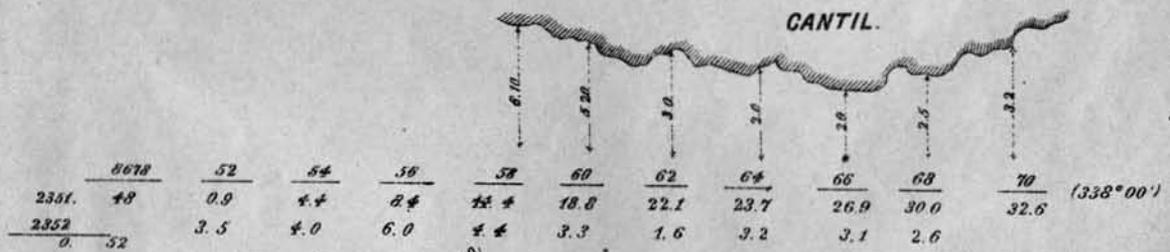


Fig. (6)

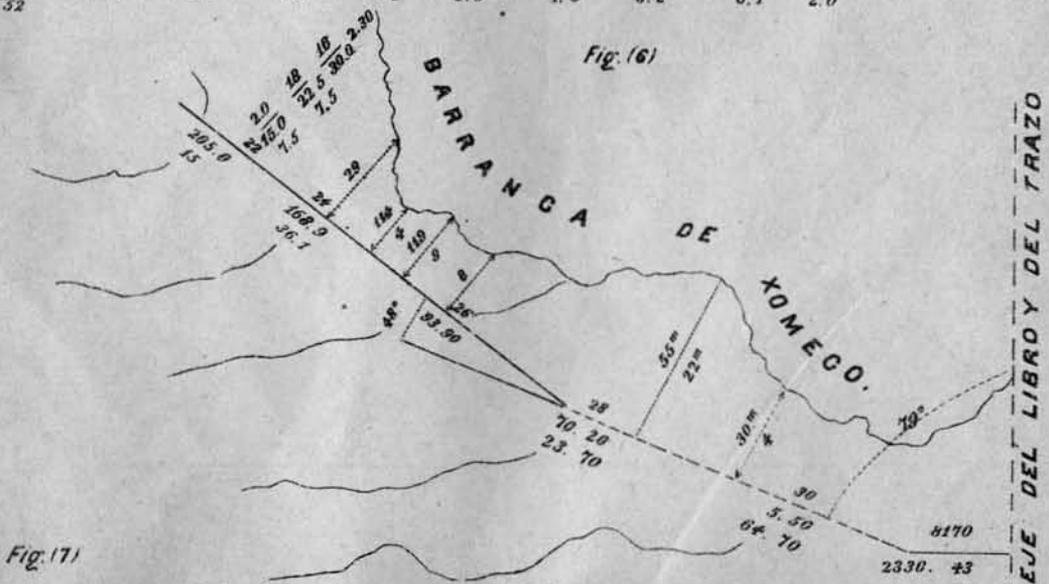
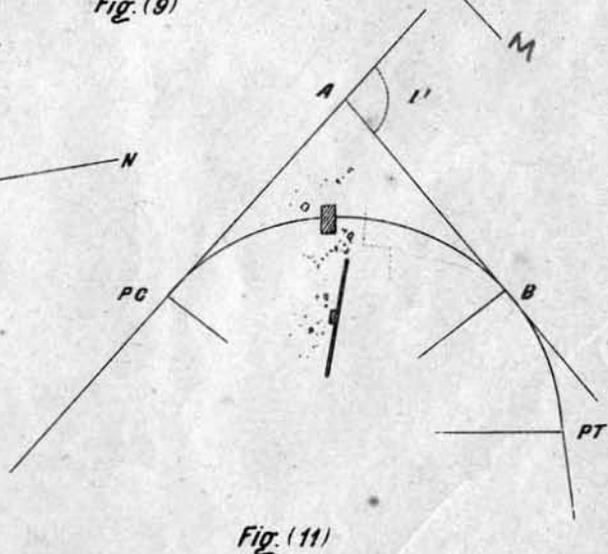
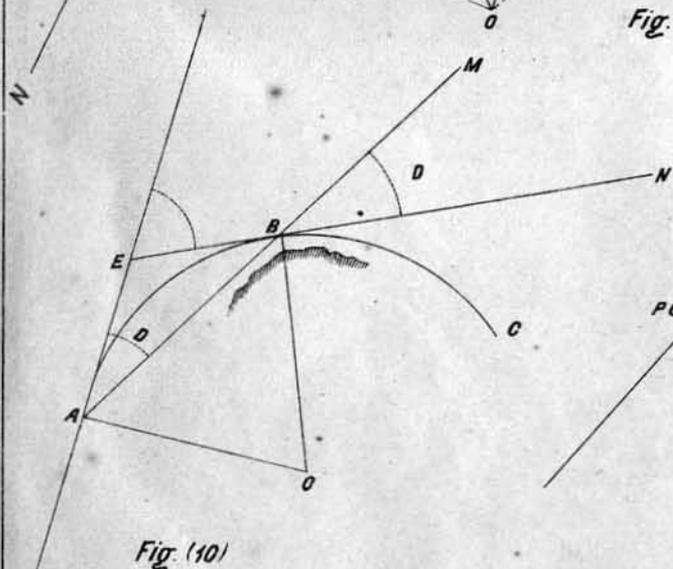
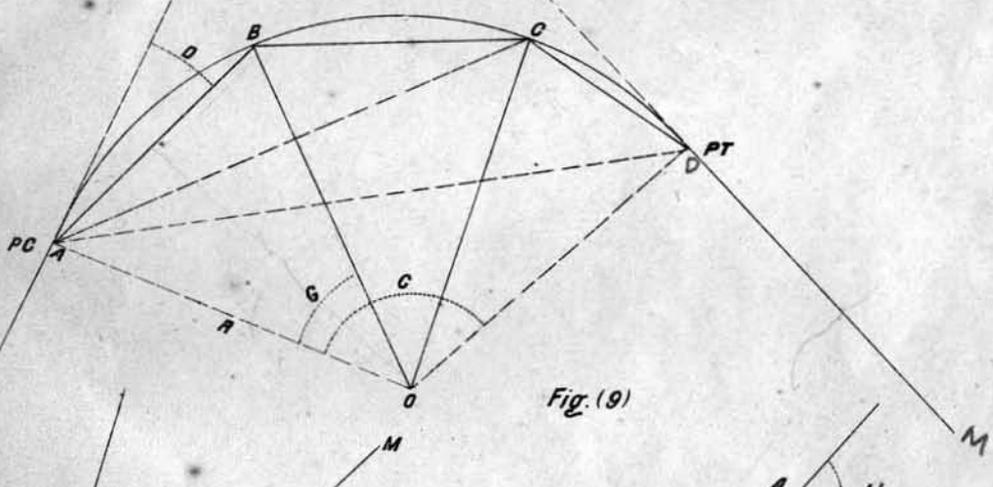
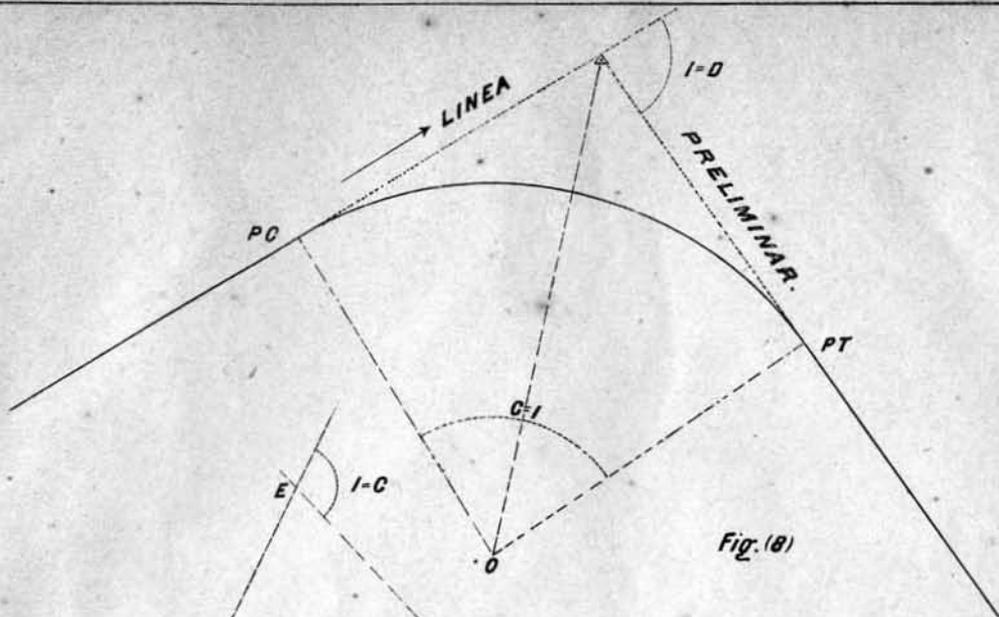


Fig. (7)

EJE DEL LIBRO Y DEL TRAZO



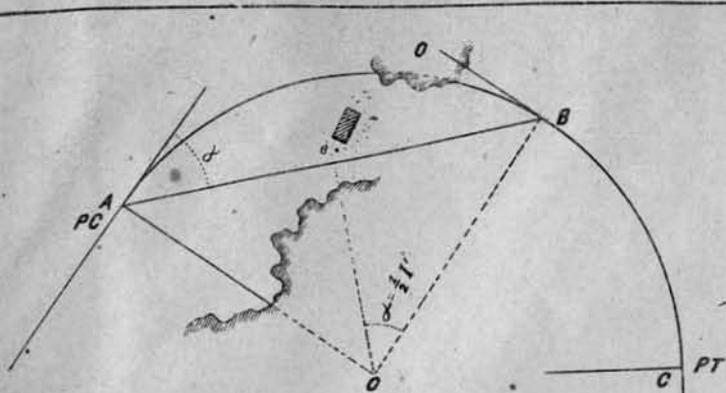


Fig. (12)

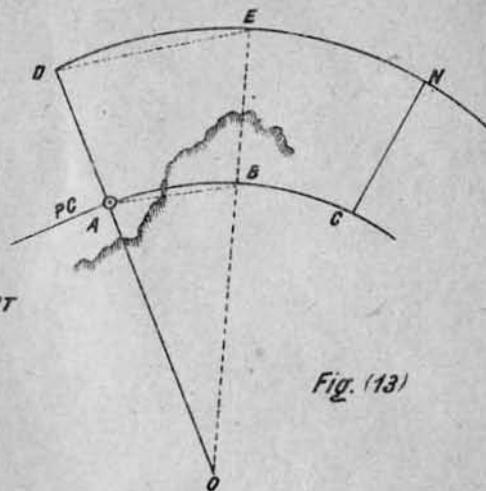


Fig. (13)

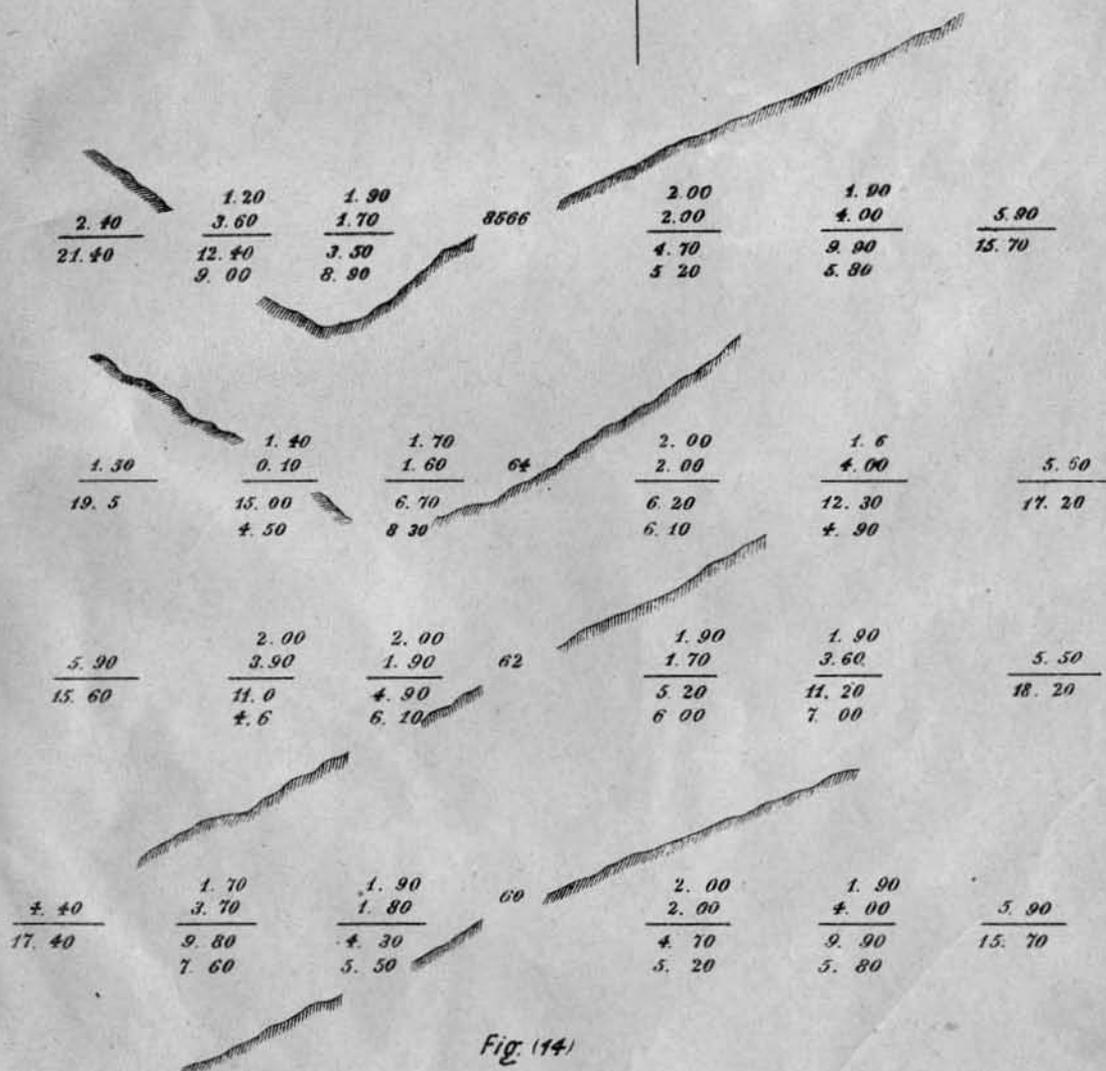
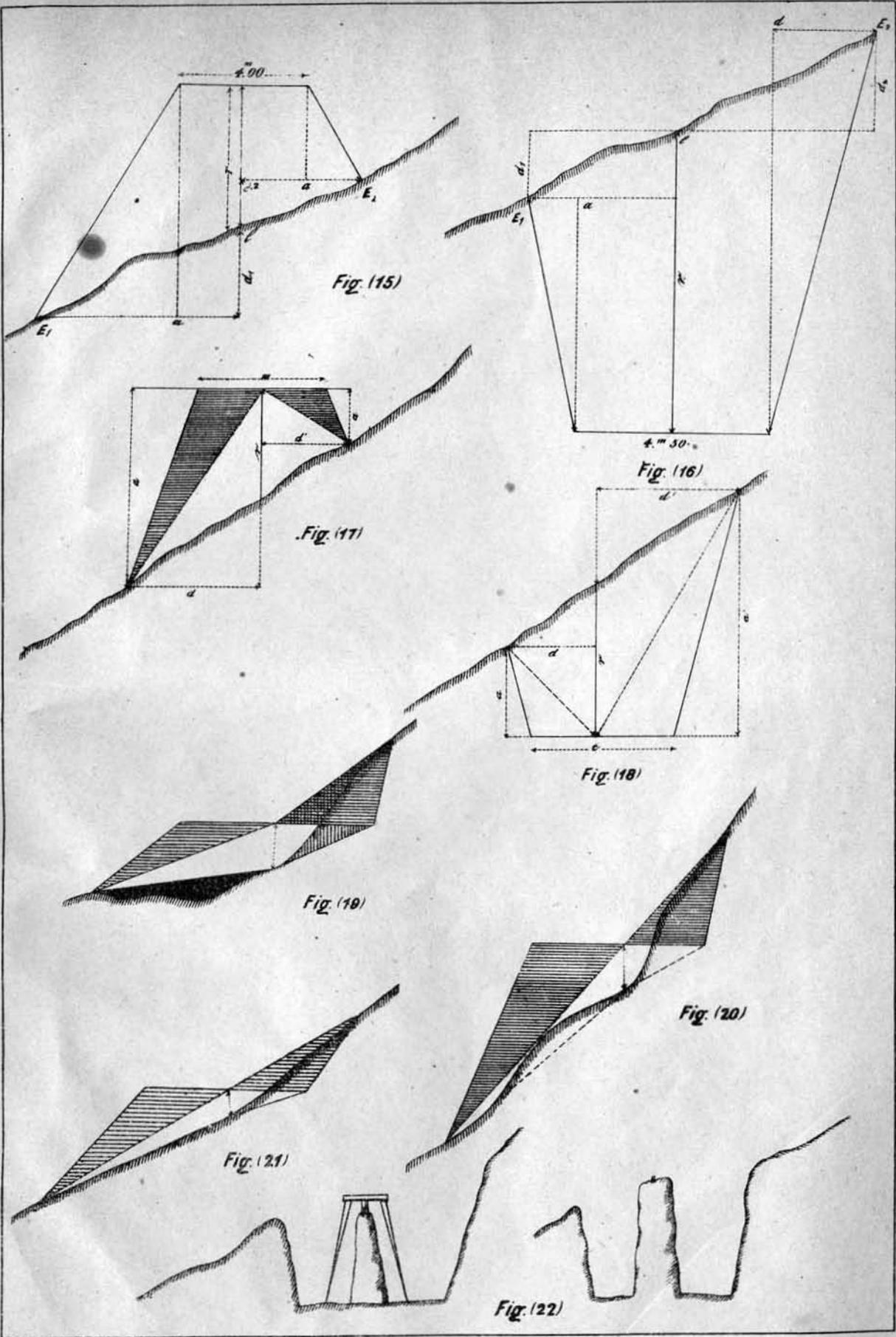


Fig. (14)



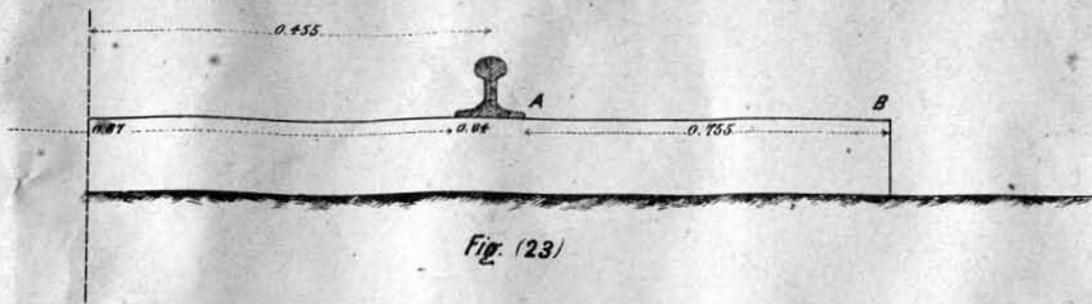


Fig. (23)

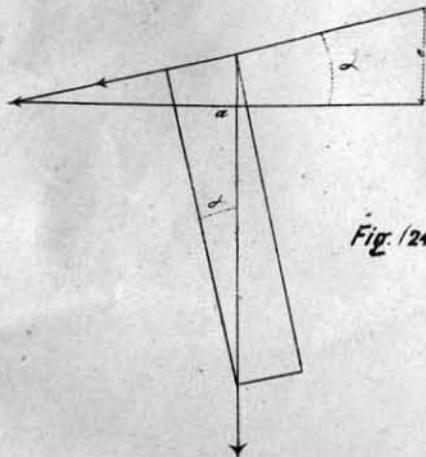


Fig. (24)

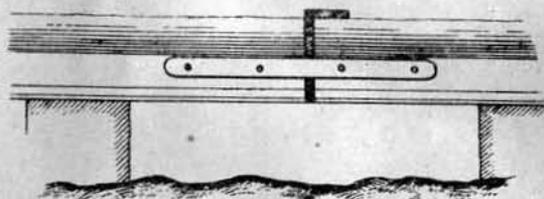


Fig. (26)



Fig. (25)

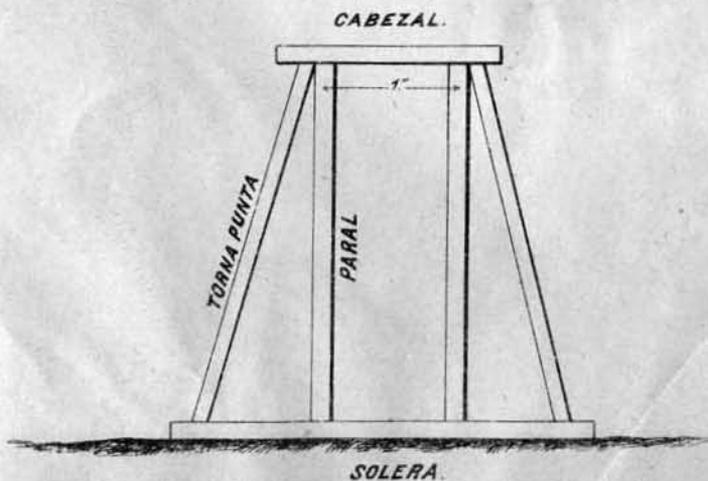
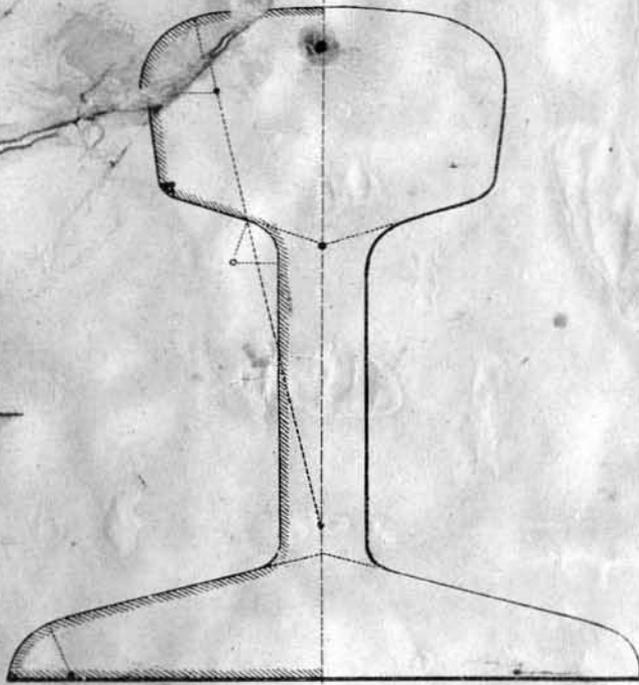


Fig. (29)



TAMAÑO NATURAL.

Fig. (27)

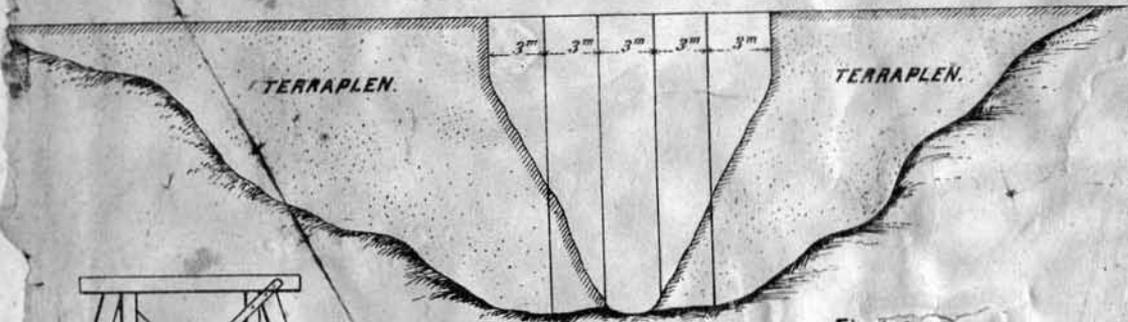


Fig. (28)

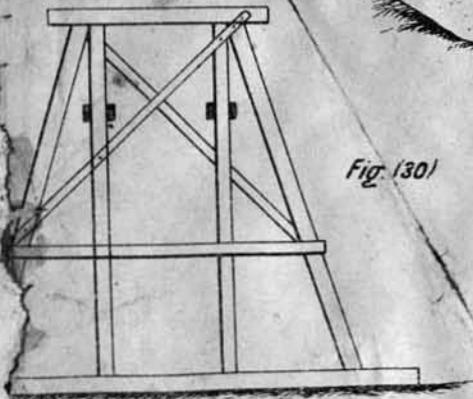


Fig. (30)

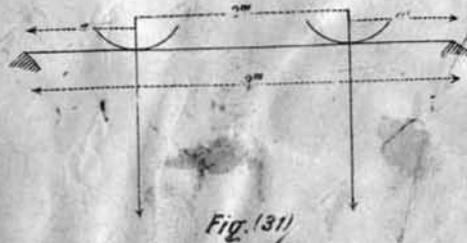


Fig. (31)