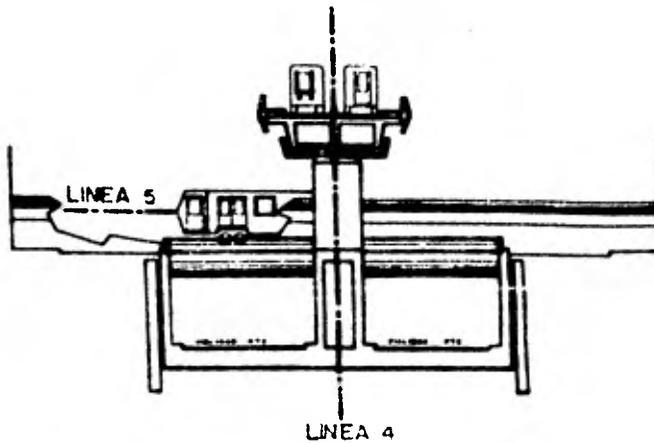


0 Ejempl.

Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE INGENIERIA

ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERIA TOPOGRAFICA EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA LINEA ELEVADA DEL FERROCARRIL METROPOLITANO (METRO) EN LA CIUDAD DE MEXICO



T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODISTA
P R E S E N T A**

UBERTINO GONZALEZ GONZALEZ

MEXICO, D. F

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-282

AL Pasante señor UBERTINO GONZALEZ GONZALEZ,
P a s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Alfonso A. Sánchez Rosales, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero TOPOGRAFO Y GEODESTA.

"ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERIA TOPOGRAFICA EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA LINEA ELEVADA DEL FERROCARRIL METROPOLITANO (METRO) EN LA CD. DE MEXICO"

- I. Introducción.
- II. Levantamiento topográfico.
- III. Proyecto, trazo y referenciación del eje.
- IV. Control planimétrico y altimétrico de la obra.

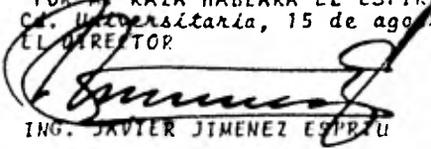
Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, 15 de agosto de 1980

EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/GBH/208

**ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERIA TOPOGRAFICA EN EL
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA LINEA ELEVADA DEL FERRO-
CARRIL METROPOLITANO (METRO) EN LA CIUDAD DE MEXICO.**

I N D I C E

CAPITULO I

INTRODUCCION

- 1.- Síntesis Histórica de la Evolución del Ferrocarril
Metropolitano.
- 2.- Aspectos de Planeación.

CAPITULO II

- 1.- Levantamiento Topográfico y Localización de Sondeos.

CAPITULO III

- 1.- Proyecto, Trazo y Referenciación del Eje.

CAPITULO IV

- 1.- Control Planimétrico y Altimétrico de la obra.

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

1.-Síntesis Histórica de la Evolución del Ferrocarril Metro
politano.

- a) Transporte Urbano.
- b) Primer Transporte Urbano.
- c) Primer Metro en el Mundo 1863.
- d) Nueva York E.U. 1868.
- e) Estambul Turquía 1875.
- f) Chicago 1892.
- g) Budapest Hungría 1896.
- h) Glasgow Escocia 1897.
- i) París Francia 1900.
- j) Berlín Alemania 1902. Berlín Occidental y Oriental.
- k) Buenos Aires Argentina 1913.
- l) Madrid España 1919.
- m) Atenas Grecia 1925.
- n) Tokio Japón 1927.
- o) Moscú U.R.S.S. 1935.
- p) Toronto Canadá 1954.
- q) Roma Italia 1955.
- r) Lisboa Portugal 1959.
- s) Haifa Israel 1959.
- t) Milán Italia 1964.
- u) D.F. México 1969

TRANSPORTE URBANO (Generalidades)

Definitivamente nuestra Ciudad no es la única en el mundo que padece problemas de transporte, pero tampoco podemos decir que los tenemos superados. Todos los sectores ponen en juego sus mejores recursos para resolverlos. El sector que más ha destacado sin menospreciar el otro (El Privado) el sector Público, que en los últimos diez años ha tomado cartas en el asunto para planificar de una manera más trascendental el transporte urbano; el cual cada día se manifiesta más complicado técnicamente hablando y de pesadilla para los capitalinos. Puesto que no hay transporte que sea suficiente cuando padecemos un índice de crecimiento demográfico de 3.5% a nivel nacional, un ejemplo de esto es la población en el área metropolitana; en el año de 1974 era de ocho y medio millones de habitantes, (dato tomado del Compendio Mundial 1974), y a principios de 1980 esta misma área cuenta con 11 763 861 once millones setecientos sesenta y tres mil ochocientos sesenta y un habitantes, (dato tomado del Almanaque Mundial 1980), como podemos observar en aproximadamente seis años la población de la zona metropolitana se ha incrementado en un 38.4%, algo verdaderamente sorprendente y que dificulta la planeación del transporte urbano. Este factor población, más el factor contaminación: humo, ruido y espacio, aunque este último factor no es contaminante como los dos primeros, es también de preocupar, debido a la estrechez de las calles de la Ciudad de México especialmente en la zona céntrica de ésta y algunas colonias nuevas surgidas de las invasiones populares donde no

se observan ni las más mínimas reglas de asentamientos humanos, es por ésto, que los autobuses urbanos decimos que contaminan con ruido, humo y espacio.

De aquí que las autoridades comiencen a planificar este renglón con la innovación del Ferrocarril Metropolitano (Metro). Es en el año de 1966 cuando se constituye el "Comité Consultivo de Transporte", entidad que después de los estudios previos de vialidad y técnica económica, concluyó -- que era necesario construir un "Sistema de Transporte Colectivo" por medio del Tren Metropolitano, de vía libre y que fuera capaz de transportar grandes masas de usuarios y algo aún más importante que es el abatir el tiempo de traslado entre puntos extremos de nuestra gran metrópoli. Pero antes de entrar en detalle de nuestro metro y en especial de la Línea Cuatro, tema principal de esta tesis hagamos una pequeña reseña histórica de éste a nivel mundial.

PRIMER METRO EN EL MUNDO

El primer Ferrocarril Metropolitano tuvo su origen en el -- Reino Unido de la Gran Bretaña más específicamente en la -- Ciudad de Londres, en el año de 1863, esta Ciudad de gran actividad industrial y económica en esos tiempos, constituyó su primer Sistema de Transporte Subterráneo de pasajeros inaugurando la era de los Metros. Fueron muchas las experiencias que esta primera obra legó a la humanidad, pudiéndose afirmar que de ésta se obtuvieron las bases para los más modernos, por lo que bien vale la pena hacer una breve --

exposición de esta obra.

A finales del siglo XIX, Inglaterra contaba ya con una gran infraestructura en vías férreas cuyo desplazamiento se facilitaba enormemente, pues se contaba con buenos sistemas de transporte. En Londres, nace la sub-urbe; contando en ese tiempo con 15 estaciones de ferrocarril que con sus emplazamientos formaban un anillo de 7 km en dirección E-W y 3 km en dirección N-S de tal forma organizadas que las situadas al Norte, Este, Suroeste, etc., de la ciudad corresponden a las vías férreas que viajan hacia los mismos puntos cardinales, resulta evidente la conveniencia de contar con una línea rápida de transporte, que por su índole debería ser subterránea, que enlazara entre sí un cierto número de estaciones ferroviarias y la propia Ciudad, el centro financiero y comercial del Imperio Británico.

A esta necesidad correspondió la primera Línea del Metro de Londres, La Metropolitan, que unía las estaciones de Paddington (great western), Euston (London and Northwestern), King's Cross (Great, Northern) y más tarde Saint Pancras (Midland Railway). Es curioso señalar que el nombre de aquella compañía, "METROPOLITAN RAILWAY COMPANY", el de la línea que creó han pasado a ser utilizados, en forma abreviada para designar los sistemas subterráneos en todo el mundo excepción entre otras pocas del propio Londres donde se llama actualmente "Under Ground o Tube", según los casos.

Las molestias inherentes a la primera sección del Metro en Londres, cuyos trenes movidos por locomotoras de vapor, no fueron obstáculo para el rápido crecimiento de las Líneas,

al que contribuyó la aplicación de la tracción eléctrica, utilizada por primera vez en el mundo en el año de 1890, en la Línea "City South London".

La primera Línea del Metro, como ocurre siempre con el trabajo de los precursores, resolvió problemas de Ingeniería, - (además del procedimiento de Construcción de Cajón a Cielo Abierto que en México se utilizaría casi 100 años después con algunos variantes), problemas que hasta entonces no habían sido planteados en la práctica, como se comportarían las bóvedas de ladrillo al recibir peso en un solo lado, como desviar tuberías de agua potable, alcantarillado, líneas telegráficas, etc. etc., pero veamos que problemas tuvieron con la máquina de vapor en los túneles: cuando se proyectaba el primer Metro, en los años anteriores a 1863, solo habían transcurrido unos años desde la puesta en servicio del primer ferrocarril para pasajeros en el mundo, la Línea Stockton & Darlington, seguida un poco más tarde por la Liverpool & Manchester en 1830, fecha universalmente aceptada como la iniciación de la era de los ferrocarriles. Era lógico que para mover los carros de pasajeros del nuevo Metro, se pensara en utilizar la locomotora de vapor, aunque las circunstancias de su empleo requerían la adopción de precaución que evitarán el riesgo de asfixia para viajeros dentro de los túneles.

El primer intento consistió en una locomotora diseñada por "Robert Stevenson and Co." en 1861, 2 años antes de ser inaugurada la Línea. Según la terminología utilizada para clasificar las locomotoras desde el punto de vista de sus ruedas,

eran modelo 2-2-2. La innovación introducida para su uso en los túneles, consistía en una envoltura de ladrillos, calentados al rojo claro por el fuego del hogar mientras la máquina se encontraba al aire libre, esto es, antes de entrar al túnel, para iniciar su viaje por éste de 12 km entre Paddington y Edgware Road o viceversa. Se contaba por otra parte -- con elementos situados al aire libre en ambas terminales, para calentar el agua con que sería llenada la caldera en cada extremo de la Línea. De esta manera se evitaba que la máquina utilizara su hogar de combustión dentro del túnel y se esperaba que la presión del agua de la caldera ayudada por el calor de los ladrillos fuera suficiente para completar el -- viaje.

Las pruebas hechas el 28 de noviembre de 1861, no dieron el resultado esperado. No solo se había perdido casi por entero la presión necesaria para completar el recorrido, sino -- que una atmósfera irrespirable, compuesta por humo, polvo -- de ladrillo y vapor, acompañó al tren en todo su recorrido, con la consiguiente incomodidad para los participantes de -- la prueba. A esta prueba le siguieron otras que tampoco con -- vencieron.

La segunda locomotora diseñada especialmente para el Metro -- fué la ideada por Sir Daniel Gooch, modelo 2-4-0, con cilin -- dros exteriores, ruedas motrices de 1.83 m (6 pies, peso de 38 toneladas y preparada para quemar carbón de coke).

Los humos del hogar podían ser lanzados al exterior, por la chimenea, cuando el tren estaba al aire libre, o bien bajo el hogar dentro del túnel. Los cilindros instalados fuera --

de la máquina, por primera vez en la historia para dejar un espacio libre que fuera utilizado por los tanques con agua y condensador de vapor. Aunque en la práctica presentaron ciertas dificultades mecánicas, sirvieron eficazmente en la Línea, moviendo cuatro trenes por hora hasta ser desechadas por razones ajenas a su eficacia.

Los carros parecidos a los de los ferrocarriles; los túneles de este primer Metro estaban muy mal ventilados.

A la máquina 2-2-2, le siguió la 2-4-0 de Sharp Brothers y a ésta la substituyó la 4-4-0 de Bayer Peacock & Co., que pasó a ser el tipo generalizado en la Línea del Metro de Londres, hasta que se substituyó el vapor por la electricidad, con una fuerza motriz muy superior al vapor. Y la primera máquina de tracción eléctrica comenzó a rodar en Londres el año de 1890 en la Línea "City and South London", que cruzaba bajo el Támesis. Las innovaciones de la electricidad, el sistema de rodamiento y otros factores proporcionaron eficacia al Metro así como correr por curvas más cerradas, etc. etc..

El segundo Metro fué el de Nueva York E.U. Comenzando a funcionar el año de 1868, al igual que el de Londres muchos y muy variados problemas de Ingeniería Civil apreciaron, se crearon nuevas técnicas de construcción; evolucionó éste hasta que en la actualidad cuenta con 395.5 km de Líneas, de ellos 165 km son de tipo aereo, 220 subterráneos, 476 estaciones y 6 998 carros, todos movidos por energía eléctrica. En 1968 se iniciaron los servicios mediante líneas elevadas y siguen ampliando y construyendo más líneas.

Y así continúan los Metros de Estambul Turquía en 1875 el de Chicago E.U. en 1892, el de Budapest Hungría en 1896, por cierto que el húngaro "Ganz", propuso el proyecto de una máquina de corriente alterna a 3 000 volts, el cual fué rechazado por haber presentado al mismo tiempo en Londres - por un americano otra máquina de corriente eléctrica directa, usando solamente 500 volts posteriormente se inauguró - la de Glasgow Escocia en 1897 por cierto que el proceso -- constructivo de esta Línea del Metro es de Antología, pues ningún Ingeniero Civil o Arquitecto debe ignorar como se -- construyó. Sigue el Metro de París Francia en el año de --- 1900, muy interesante su construcción por los diferentes ma-- teriales que se encontraron, entre ellos el granito y el -- mármol, muy difícil de perforar en esa época por contarse - con poca maquinaria, además es muy importante, pues es el - Metro de Francia uno de los que más han evolucionado en el mundo hasta nuestros días. Fué el primer Metro que utilizó es sistema de rodado por medio de NEUMÁTICOS, de esto habla remos más tarde. Prosigue el Metro de Boston E.U. en 1901. Siguió el de Berlín Alemania en 1902. Continuaron inaugu-- rándose el de Filadelfia E.U. 1907; el de Hamburgo Alemania 1912. Y aparece el primer Metro de América Latina, que le - correspondió al país de Argentina en 1913. En 1919 en Ma-- drid España y en este mismo país en Barcelona en 1924 se - inaugura el segundo Metro de España.

Para el año 1925 se inaugura el de Atenas Grecia. En 1927 - arranca en Tokio Japón la era de los Metros, país donde tan - bién ha evolucionado mucho este sistema de Transporte Colect

con 350 km más de Líneas entre ellas construirán una circular que se agrega a otra ya existente. Aunque las nuevas estaciones no son de la misma calidad estética que las primeras, siguen empleándose en su construcción mármol y granito no solo por su belleza y duración, sino también por el escaso costo de su limpieza.

El costo del pasaje es de 82 centavos, el más económico del mundo, hasta 1976 contaba con 1800 carros, con intervalos de salida de 80 segundos, con velocidad de 100 km/h máxima y comercial de 40 km/h.

Es manejado por el Municipio, así como los trolebuses, tranvías y camiones urbanos. Todos estos medios de transporte son construidos por el Municipio y el Gobierno Soviético. Continúan el de Estocolmo Suecia en el año de 1950; el de Toronto Canadá en 1954, muy importante también por tener su sistema de rodamiento igual que el Metro de Francia y el de México, además de haberse empleado, técnicas de construcción semejantes a las que se usaran aquí en el Distrito Federal. Continúa el de Leningrado U.R.S.S. importante y parecido en eficacia y económico que el de Moscú, inaugurado -- después de la Segunda Guerra Mundial en 1955, pues como se sabe esta fué una de las ciudades que los nazis castigaron con más zafra.

Siguen otros muchos Metros:

Cleveland E.U. 1955, Roma Italia 1955

Nagoya Japón 1957, Lisboa Portugal 1959

Haifa Israel 1959, Kiev U.R.S.S. 1960

Y continúan el de Milán Italia en 1964, el cual no ha dejado o--

tra experiencia en cuanto a construcción. La Línea Uno del Metro de Milán parte es túnel profundo; fué construido mediante la técnica ya conocida como "Cajón Milán". Este sistema que consiste en la utilización de las propiedades estabilizadoras de una arcilla llamada Bentonita, que venía siendo empleada en la perforación de pozos profundos para las explotaciones petroleras. Hagamos un breve resumen de como se ejecuto la construcción de este cajón milán: se comenzó por excavar dos trincheras poco profundas, sobre la vertical de los futuros muros del cajón. Las caras laterales de estas trincheras son protegidas por unos brocales de concreto pobre y ligeramente armados, procediéndose seguidamente a profundizar estas trincheras, utilizando brocas de gran diámetro y palas mecánicas especiales (almejas) que retiran la tierra hasta lograr la profundidad requerida al mismo tiempo que se va excavando se va inyectando el lodo bentonítico, con lo que se evita la caída o derrumbe de las paredes laterales. Una vez lograda la profundidad (en Milán 14.30 m) se introdujeron los armados de varilla (emparrillados), después de esta operación se procede a verter el concreto, en ese mismo instante comienza a salirse el lodo bentonítico por la parte superior de las trincheras, ya que estos lodos son de un peso específico inferior al concreto, por lo que dicho concreto se deposita desde el fondo de estas excavaciones hasta la parte superior de las trincheras, quedando conformado el Muro Milán de concreto reforzado. Terminados ambos lados las paredes del Cajón, es decir, esta primera fase, se excava el terreno comprendido entre los dos

muros hasta la altura correspondiente al techo del cajón --- (en Milán 4.70 m) y se procede al colado del mismo. Terminada esta segunda fase, se recubre el techo, reinstalando las tuberías, cables, etc., que previamente se desvían, quedando restablecido el tránsito de superficie.

La tercera parte consiste en excavar el túnel, por debajo de su propio techo y entre sus dos paredes laterales, hasta la profundidad de proyecto (en Milán 9.55 m) y con el colado -- del piso se completa la quinta etapa. Este túnel tiene un ancho de 9 m y sus paredes laterales un espesor de 72 cm.

Ahora entremos a ver como se construyó el Metro de la Ciudad de México. Gran parte de la Ciudad de México se encuentra construida sobre un lago desecado. El subsuelo presenta características muy especiales que hacen muy difícil la cimentación de edificios, pues está constituido por mantos arcillosos integrados por cuatro partes de agua por cada parte de materia sólida.

Resulta por ello grandemente compresible. Son bien conocidos por los técnicos y capitalinos los efectos de la difícil cimentación; como ejemplo observemos el hundimiento del Palacio de Bellas Artes (observándose más de 3 m de hundimiento desde 1909, a la fecha) o el Palacio de Minería etc..

Nuestra capital esta situada sobre una zona volcánica, son frecuentes los sismos de magnitud 7 de las escalas de Mercalli. Por lo que cualquier obra en esta zona es de difícil diseño sin el indispensable estudio de Mecánica de Suelos.

Nuestro Metro está constituido por 3 líneas, la Uno que va -

de Ignacio Zaragoza a Observatorio, la Dos de Tacuba a Taxqueña y la Línea Tres Tlatelolco Centro Médico, totalizan -- 37.3 km, en explotación (más de 2.5 km para maniobras), --- 9.927 km al aire libre (superficial), 29.737 km en túnel de Cajón y 1.136 km en túnel perforado.

Nuestro Metro es administrado por el Sistema de Transporte Colectivo Metro, Organismo Público descentralizado del Gobierno del D.D.F.

La Línea Uno entró en servicio incompleta (de Zaragoza-Chapultepec) el mes de septiembre de 1969, el tramo Chapultepec-Juanacatlan en junio de 1970. Y terminado hasta Observatorio en 1971. La Línea Dos Tacuba-Taxqueña, el tramo superficial se puso en servicio en agosto de 1970.

La Línea Tres se puso en servicio en noviembre de 1970. Se invirtieron aproximadamente 5 000 millones de pesos en su construcción.

Como era de esperarse durante la construcción de estas Líneas, se tropezaron con obstáculos, tales como Líneas de agua potable, tuberías de alcantarillado, ductos de telefonos, -- oléctricos, edificios viejos y zonas arqueológicas, etc., la mayoría de éstos fueron localizados topográficamente y se hicieron proyectos de desvío, otros problemas surgieron sobre la marcha y sobre la misma se resolvieron de manera muy eficiente, las pruebas las tenemos a la vista.

Para solucionar los problemas con el agua al estar haciendo el Cajón Milán, este problema se resolvió por electroosmosis. En México se aprovechó la experiencia de todos los otros Metros construidos en el mundo, pero principalmente en la Lí-

nea Uno y la parte de la Calzada Ignacio Zaragoza se utilizó el Sistema de Cajón Milán con dos variantes más que en el sistema tradicional no se utilizaban, estos fueron el Cajón Integral y el Modificado, denominado Milán de acompañamiento, en el que además del Cajón normal se construyen dos tablestecas auxiliares, una a cada lado del Cajón Integral. Se modificaron muchos aspectos. El factor más importante de entre los muchos a considerar la constituyó el de nuestro subsuelo, formado en un 80% por agua. De no ser adoptadas precauciones basadas en cuidadosos cálculos se corrían riesgos muy serios: los túneles se hundirían en el subsuelo o bien saldrían a la superficie. De ambos fenómenos tenemos antecedentes en el D.F.

La solución simple en experiencia, consistió en compensar los pesos del material extraído del túnel, dejando este último un poco menor en peso que el del material. Y por fin se terminó con el falso mito de que en nuestra Ciudad no podría jamás construirse un Metro. En realidad el Cajón del Metro se asemeja al fenómeno bien conocido y utilizado, desde la antigüedad, llamado Principio de Flotabilidad. Principio utilizado por los buques desde los más primitivos hasta los más modernos. El caso más concreto es el que suponen los submarinos, en los que mediante la admisión de Agua a los tanques se consigue que el submarino tenga un peso exactamente igual al del agua que desaloja. Por lo que el túnel con el Metro dentro, es en su fundamento constructivo, como un buque, pero aquí se trata de una nave de dimensiones enormes y desproporcionadas, dicho en otras palabras Nuev-

tro Metro ya integrado tiene 29 737 m de longitud y un ancho de 8.60 m y a 7 años podemos comprobar lo bien construido -- que está, la preferencia por parte de los usuarios, quienes han comprobado lo eficiente rápido y económico y no contaminante; esta preferencia ha provocado una mayor demanda de este tipo de servicio, suscitándose con esto una ampliación de la Línea Tres (por el Norte hasta los Indios Verdes y por el Sur hasta Zapata), así como la construcción de las Líneas -- Cuatro Elevada, la Cinco y la Seis, las que se supone serán terminadas durante el presente sexenio (1976-1982).

En la presente Tesis tratare de describir la participación tan importante que la Topografía tiene en las construcciones de Líneas del Metro y más específicamente la Línea -- Cuatro ELEVADA, primera en su género en México y otro de los retos para los técnicos mexicanos. Este sistema de construcción nuevo en México, consiste en meter como cimientos una serie de pilotes de 23 m de longitud promedio y una sección cuadrada de 50cm X 50cm llamada Pilotes de Fricción.

Este nombre de Pilote de Fricción es debido a que físicamente es como trabaja; es fabricado con varilla de 3/4 inch de diámetro y con concreto reforzado de 150 kg/cm².

Estos pilotes son incados en el terreno hasta la profundidad requerida, por una grua dotada de un martillo neumático.

Posteriormente se hace una excavación en una area de 14m X 14m y una profundidad aproximadamente de 3.15m, estos pilotes se descabezan un metro para que con estas varillas que quedan descubiertas por el descabezo se amarran a la zapata

y todas las estructuras que siguen queden unidas. Sobre estos pilotes se cuela una plantilla de un área de 13m X 13m y un espesor de 10 cm, con concreto de resistencia de ----- 100 kg/cm².

Sobre esta plantilla se arma y cuela una zapata de 13m X 13m de área y 1.15m de altura promedio, con varilla y concreto de resistencia de 250 kg/cm². En esta zapata descansa un Dado armado de varilla y concreto de 250 kg/cm² con una superficie de 4m X 3.80m y ochenta centímetros de espesor, este Dado sostiene a una columna cuyas áreas de desplante es de 2.40m X 2.20m de terminación en la parte superior 3.45m X 2.70m y una altura promedio de 3.50m armada de varilla y concreto de resistencia igual a 250 kg/cm². A continuación van colocados cuatro Neoprenos, dos de ellos más delgados llamados Apoyos Simples y los dos más gruesos denominados Apoyos Articulados. Los Neoprenos más grandes y que se colocan en la parte anterior al cadenamiento de la columna y que además fungen como apoyos articulados tienen como dimensiones: caras planas superior e inferior 45cm X 8cm y una altura de 16 cm. Los otros dos más delgados actúan como apoyos simples y se colocan después del cadenamiento de la columna y tienen las siguientes dimensiones: en sus caras laterales planas 80cm X 45cm y una altura de 3.8cm. Estos Neoprenos son de 16cm y son de hule y acero formando un sandwich.

Sobre estos elementos descansan las trabes. En este caso la trabe es un elemento horizontal apoyada en sus dos extremos para librar un claro determinado. Estas trabes son de Cajón Postenzadas (se tencan después de coladas). Se arman de va-

rilla de diferentes diámetros, entre sus componentes sobresalen 3 nervaduras paralelas al eje de viaducto y a todo lo largo de la trabe, de 4 a 5 diafragmas perpendiculares al mismo eje de viaducto, armadas con varilla de acero de $\phi = 1\frac{1}{2}$ inch y $\phi = 1\frac{1}{4}$ inch de diámetros, coladas con concreto de 250 kg/cm^2 sobre de estos elementos se arma y cuele una losa de 25 a 35 cm de espesor y un ancho de 8.50m con excepción de los anchos en trabes de estación, (que incluso varían sus nervaduras y diafragmas). El ancho en trabe de estación 15.504m.

La altura media de piso a trabes en promedio es de 9.50m. Así completamos las trabes que forman la subrasante del viaducto del Metro. Sobre estas trabes se coloca el Balasto que es un agregado de piedra con diámetro promedio de $1\frac{1}{2}$ inch y un peralte de 35cm. Sobre este Balasto se colocan los durmientes de madera sobre los que descansarán los rieles que finalmente formarán la Rasante, que es donde rodará el Ferrocarril.

El presupuesto para la Línea Cuatro ELEVADA del Ferrocarril Metropolitano es hasta estos momentos de 6 300 millones de pesos y tiene una extensión de 10.5 km.

Aspectos de Planación.

Información General.

Un breve resumen del panorama socio-económico de la Ciudad de México y su área periférica, en relación con las necesidades del transporte de sus habitantes, permite señalar -- que esta zona geográfica, cuya división política está integrada por 16 Delegaciones del Distrito Federal y 12 Municipios del Estado de México, cuenta con una superficie de 2396 km² y una población estimada para el presente año (1979) de 12 887 882 habitantes, equivalentes al 20.6% de la población nacional.

La población económicamente activa de la zona metropolitana para 1978 se calculó en 3 753 622 personas cuya distribución por actividades nos indica que: 1 197 405 habitantes laboran en los 33 749 establecimientos industriales que se localizan en esta área geográfica, incluyendo desde los más modestos talleres, hasta las más complejas plantas fabriles.

El comercio absorbe a 442 927 personas que prestan sus servicios en los 158 533 giros comerciales establecidos en la región en estudio, desde las tradicionales micelaneas hasta -- los más sofisticados centros comerciales.

El renglón servicios de ocupación a 1 512 709 personas, dentro de los cuales quedan incluidos 558 114 empleados públicos. La industria de la construcción ocupa a 202 696 personas; el renglón de transporte a 131 377; la actividad agropecuaria, extractivas, de electricidad, de gas y otras dan ocupación a 266 508 habitantes.

Además de las imperativas necesidades de transporte que deben cubrirse a los sectores de población antes mencionadas también deben atenderse la diaria movilización de miles de -
 amas de casa de gran parte de los 2.5 millones de estudian--
 tes de todos los niveles y de miles de personas que deben --
 desplazarse día con día por los más variados motivos.
 Con base en los datos elaborados por especialistas en Inge--
 niería de Tránsito, la demanda de transporte generada por --
 los habitantes de la zona metropolitana en 1978, pueda esti--
 marse en 16 700 000 viajes persona por día laborable, para -
 cuya satisfacción se cuenta con 7 500 autobuses, 40 000 ta--
 xis, 1 500 000 automoviles, 225 tranvías, 424 trolebuses (ac--
 tualmente fueron aumentados con la apertura de los Ejes Via--
 les) y un sistema de Metro con 852 carros, 3 Líneas y una ex--
 tensión de servicio de 41.6 km de longitud.
 La utilización de estos medios de transporte al mes de octu--
 bre de 1978, se estima en la forma siguiente:

	Viajes-Persona al día	%
Autobuses Urbanos 1a. Clase	5 280 000	31.70
Autos Particulares	2 954 000	17.70
Taxis y Peseros	1 980 000	11.80
Autobuses Urbanos 2a. Clase	1 061 000	9.50
Autobuses Sub-urbanos y foraneos	1 551 000	9.30
Metro	2 409 000	14.40
Trolebuses	380 000	2.30
Motos, Bicicletas y Otros	330 000	2.00
Tranvías	215 000	1.30
T O T A L	16 700 000	100.00

El que la mayor parte del transporte masivo de la población metropolitana, deba realizarse a través de los medios de superficie, ya sean autobuses, automoviles, tranvías o trolebuses, cuyas rutas generalmente se desplazan por el área citadina, así como las avenidas y sistemas de vialidad que la cruzan y que la circunscriben, ha dado lugar a un caótico problema de congestiónamiento y lentitud de los recorridos, que los expertos en Ingeniería de Tránsito estiman en una pérdida de 1 500 horas-hombre por día laborable.

Frente a este problema de magnitudes poco comunes la operación del Metro, aun con su extensión actual, ha venido a significar una importante solución para el transporte masivo, como se puede apreciar en la tabla anterior 14.40%, y a constituir la más viable alternativa a futuro, especialmente si se consideran las proyecciones de crecimiento demográfico -- que se prevén para esta región a mediano y largo plazo (3.5 a 3.8%).

Otra de las ventajas del tren-suburbano metropolitano es que no contamina con humos, ruido y no utiliza combustible; es un medio de transporte, higiénico, un poco más barato que el autobus, "cómodo", y eficiente.

El comillado de cómodo es porque mucha gente podrá objetarme que no sé lo que es viajar en Metro, pero lo que está sucediendo es que éste está trabajando por encima de su capacidad lo que en ocasiones puede provocar accidentes, o se puede interpretar también como ineficiente por parte de gente interesada en frenar el proyecto de las ampliaciones, o bien por gente mal informada simplemente.

En 1978 la red básica del Metro de la Ciudad de México comprende como ya mencionamos en el tema anterior 3 Líneas, con una longitud de 41.645 km de los que 32.220 km tienen - desplazamiento subterráneo 9.425 km son de recorrido superficial; como podemos ver es muy poco para el área metropolitana; y atendiendo las ventajas anteriormente mencionadas y la fuerte demanda de transporte ciudadano actualmente (observamos los autobuses de primera llevándose un poco más del - doble de su capacidad, provocando con ésto fuertes trastornos cardiovasculares, según estadísticas el 6% de los pacientes son choferes), lo que hace que el capitalino, envejezca y muera más rápido debido a las tensiones nerviosas que día con día tienen que soportar, por lo que las autoridades en vista de este malestar ciudadano han optado por elaborar el proyecto llamado Plan Maestro, ver pleno anexo, y cuya explicación ya se dió en el tema anterior.

Las ampliaciones proyectadas por otras líneas (las que se - construyen actualmente) y las características generales son las siguientes:

LINEA CUATRO ELEVADA.

La Línea que nos ocupa en esta tesis, se extiende más o menos con un trazo Norte-Sur y que comenzará en la Av. Ferrocarril Hidalgo con la estación Martín Carrera, antes Gustavo A. Madero, pasando por la Av. Inguarán, la calle de la imprenta y Morazán hasta llegar a la Av. Plutarco Elías Calles tiene una extensión actual de 10.4 km con diez estaciones:

Martín Carrera (correspondencia con la Línea 6), Talismán, -

Bondoquito, Vía Consuelo, (correspondencia con la Línea No.5) Canal del Norte, Morelos, Candelaria (correspondencia con la Línea No.1), Fray Servando, Jamaica y como estación final -- temporal Santa Anita.

Este tramo será en la parte de la Av. Ferrocarril Hidalgo su superficial para elevarse aproximadamente en el km 2+630.521 - esto es, al comienzo de las Av. Inguarán y la calle de Imprenta km 7+530.82 volviéndose superficial en la correspondencia con la estación Candelaria y elevándose nuevamente a partir de km 9+865.000 y así continuar hasta la estación Santa Anita, por el momento, ya que se proyectaba que se prolongue por el Sur hasta Xochimilco continuando por la Calzada de la Viga siendo este tramo elevado hasta el cruce con la Av. Taxqueña y continuar superficial por Miramontes hasta Xochimilco. Por el Norte existe la versión de comunicarla con los talleres de Ticomán para surtirla de convoyes por el momento, aunque el Plan Maestro indica que se prolongará hasta Ecatepec (zona del Edo. de Mex. densamente poblada) y siendo en su totalidad elevada.

Observando que la mayor longitud es elevada se justifica el nombre de Línea Cuatro Elevada del Metro.

LINEA CINCO.

Esta Línea tendrá una longitud de 14.2 km y conectará a la zona Norte, en la Delegación Gustavo A. Madero, con la zona Oriente en colindancia con Nezahualcoyotl; que tiene el cuarto lugar en densidad demográfica del País, casi dos millones de habitantes, que viven en condiciones muy difíciles pues no tienen zonas fabriles, ni comercio, ni escuelas sufi

cientes, ni drenaje, ni centros de salud, ni agua potable, -- etc. etc. . Por lo que prolongar esta Línea del Metro que -- los comunicaría con las zonas fabriles de Plalnepantla y Vallejo sería un gran alivio para este hacinamiento humano, -- que ya comienza a inquietar al Distrito Federal.

La Línea Cinco cruzará a la Línea Cuatro en la estación Rio Consulado y la Línea Tres en la estación La Raza.

Esta Línea será de construcción subterránea y Elevada, tendrá un total de 12 estaciones: Churubusco, Mangares, Aeropuerto Internacional, Oceanía, San Juan de Aragón, Eduardo -- Molina, Rio Consulado, Ferrocarril Hidalgo, Guadalupe, La Raza, terminando en la terminal de Autobuses del Norte y Portu -- na, que será correspondencia con la Línea Seis.

Comunicará como ya mencionamos antes zonas densamente pobla -- das con las zonas industriales cuyo traslado es del orden -- de 3 horas de Nezahualcoyotl, Unidad Aragón, etc. a la zona de Vallejo, Atzacapotzalco, Naucalpan y Plalnepantla (centros industriales más importantes del País). Lo que en cifras ec -- nómicas reportará un ahorro de 4 mil quinientos millones de pesos en horas-hombres, además que el trabajador dejará de -- padecer la posadilla del transporte, tendrá tiempo de aumen -- tar sus conocimientos elementales ya no digamos su cultura, se humanizará su hogar pues dedicará más tiempo a sus hijos. Perdón por lo optimista...

LÍNEA SEIS

Con objeto de lograr un equilibrio en el Plan Maestro -- del Metro, se decidió crear un ramal autónomo de comunicaci -- ón Oriente- Poniente, derivándolo del trazo original proyec --

todo para la Línea Cinco.

Se iniciará en la estación Fortuna, que ahora será de transbordo con la misma Línea Cinco, y se encuentra en la confluencia de la Av. de los 100 Metros y la antigua carretera a Atzacapotzalco- la Villa; continua al Poniente hasta el Parque Vía (hoy Radial Lazaro Cárdenas), hasta la Unidad Habitacional el Rosario en Atzacapotzalco.

Tendrá una extensión de 8.3 km con 7 estaciones: Fortuna, Vallejo, Norte 45, Ferrería, Atzacapotzalco, Tezozomoc y el Rosario; será de construcción subterránea en su totalidad.

Estas ampliaciones incrementarían la red en 43.6 km, para lograr un total a fines de 1982 de 85.1 km, capacidad para 4.5 millones de habitantes pasajeros al día, lo que representa - el 15% de los viajes- persona- día que se generán en el área metropolitana.

En la actualidad se dispone de 49 estaciones del sistema de Transporte Colectivo Metro, de las cuales 19 corresponden a la Línea Uno, 22 a la Línea Dos y 8 a la Línea Tres (en ampliaciones) hacia el Norte y Sur.

Por sus características de Servicio las 49 estaciones, del Metro pueden clasificarse en 3

- a) 3 estaciones de correspondencia: Pino Zueros, Miguel Hidalgo y Balderas.
- b) 4 estaciones terminales: Tacuba, Taxqueña, Ignacio Zaragoza y Observatorio.
- c) 42 estaciones de paso que están entre las 3 Líneas.

En general se puede decir que las estaciones se dividen en 3 zonas: andenes, accesos y zonas de servicio. Las dimensiones

de los andenes están dados por la capacidad máxima de pasaje ros que puede alojar un convoy, considerando la combinación de movimiento descendente o ascendente, afin de que el movimiento de usuarios sea fluido, seguro y cómodo. En el caso de la Ciudad de México, la longitud de los andenes es de 150 metros.

CAPITULO II

1.- Levantamiento Topográfico y Localización de Sondeos.

Levantamiento Topográfico Poligonal de Apoyo

Empecemos por definir que es una poligonal en la topografía. Se llama "Poligonal Topográfica" a una figura geométrica constituida por lados y ángulos, la mencionada figura puede ser cerrada o abierta, sus lados son rectos, también puede ser una poligonal que esté compuesta por una combinación de curvas y rectas.

Poligonal de apoyo, es la poligonal que en Topografía nos sirve para referir desde ésta a otra u otras, que serán posteriormente las del proyecto donde se implante la obra, o simplemente defina un lindero o el área de un predio.

para efectuar un levantamiento topográfico de la importancia que tiene el que estamos tratando, es muy necesario observar algunas recomendaciones que gente experimentada en estos menesteres nos pueden proporcionar, a través de libros, textos, ensayos, apuntes u oralmente.

Algunos ingenieros recomiendan para los levantamientos extensos si las condiciones son favorables a la Fotogrametría y otros se inclinan por método tradicional, que consiste en efectuar todo el trabajo directamente en campo. unos y otros tienen sus razones y fundamentos, concluyendo que sus criterios son buenos y que se aplican según la precisión que se quiera en ellos, la que es decidida por el valor de la obra o simplemente el valor del terreno que se va a levantar. Para todos los trabajos es indispensable elaborar un plan, pues ya que por experiencia sabemos que la improvisación, es a menudo causa de pérdida de tiempo, que como consecuencia-

trae un atraso en la obra y por ende un encarecimiento de la misma.

Para llevar a cabo pues, el mencionado Levantamiento se hace indispensable contar con personal debidamente capacitado, esto es, contar con especialistas en Topografía, como son los Ingenieros Topógrafos y Auxiliares (Topógrafos Técnicos) y equipo en buenas condiciones, pues solo contando con lo anterior tendremos garantizado llevar a feliz término la empresa que emprendamos.

La Parte Humana del Plan .

En esta parte intervienen (dependiendo de la magnitud y rapidez del trabajo) un Ing. Localizador, dos Ingenieros para el trazo, dos o tres Ingenieros para seccionar, un Ing. - para nivelar y dos o tres dibujantes. El personal de trazo a parte del Ing. serían:

- 1 Cadenero de Primera.
- 1 Cadenero de segunda o Contracadenero
- 1 Estaquero (peón especializado)
- 1 Aparatero
- 2 Badereros
- 1 Chofer.

La cual sería una brigada, pero un Ing. Topógrafo puede manejar hasta 2 ó más brigadas con Topógrafos Técnicos dependiendo de la distancia.

Igual para las demás brigadas que vamos a enunciar:

Personal de la brigada de Nivelación.

- 1 Estadalero
- 1 Aparatero

2 Cadeneros (también se pueden utilizar como bandereros aquí en la ciudad)

1 Chofer

Estas brigadas de Nivelación se encargan de seccionar.

Si el trabajo se hiciera en el campo entonces se necesitaría más personal, tales como: cocineros, mozos, aguadores, caballeros, arrieros, peones, brecheros, tramperos con bestias, vehículos especiales, a veces helicópteros, etc. etc., pero nuestro caso u obra es en la Ciudad de México.

Parte Instrumental del Plan.

1 ó 2 Tránsitos por brigada (De ser posible un Distanciómetro DI-10 u otro moderno)

1 ó 2 Niveles por Brigada.

Calculadoras (se puede auxiliar con las computadoras)

Señales, balizas

Cronómetros

Cintas de Acero (de 20, 25 y 50m)

Cintas de Acero Invar.

Brujulas

Lupas

Plomadas

Estadales

Pintura

Brochas

Clavos para concreto

Pistolas para meter clavos

Boyas y señales

Lámparas si se trabaja de noche por el tráfico

Flexómetros

Libretas de tránsito, Nivel y Secciones

Lápices

Y desde luego los útiles que en el gabinete se utilizarían - tales como instrumentos de dibujo, máquinas de escribir, res-tiradores, mesas, etc. etc. . De igual manera podemos decir que si estas brigadas fueran a ser utilizadas para el campo se llevarían algunos elementos para campo, como carpas gran-des de lona, catres, lámparas de gasolina o petróleo, plan-tas de gasolina, bombas de flit, loza de cocina, estufa etc.

Trabajos que desempeña el personal mencionado.

El Localizador. Este Ingeniero y su personal tiene como mi-sión localizar la Línea donde se implantarán las vías del Me-tro. Si la obra fuera en el campo su función sería ir ponien-do una serie de puntos en el terreno, para que se apoye en e-llos el trazador que viene detrás de él. Con sus respectivos peones abre una brecha angosta, ésta se la llevan por donde lo decida la pendiente que en estos casos se toma menor que la gobernadora y dicha pendiente se marca en un alfiler de mano y se observa en un estadal o regla graduada.

Aquí en la Ciudad el localizador no necesariamente actúa co-mo en el campo, pues ya que se cuenta con información carto-gráfica más o menos precisa para hacerse casi toda la locali-zación desde el gabinete, además de la información que le -- puede prestar la Aero-fotografía mediante la Fotogrametría y los fotoplanos.

En esta obra los localizadores se dedicaron casi exclusivamente a la localización de Líneas de drenaje, Agua Potable, Líneas Telefónicas, Eléctricas, Ductos de gas, o sea a la localización de instalaciones municipales en general por donde pasará la Línea, con lo que se harán los desvíos pertinentes y ocasionar los menores molestias a los ciudadanos.

El trazador. Este profesional es el responsable de llevar a efecto parte del Levantamiento, esto es la parte que corresponde a la Planimetría, a este individuo, le corresponde el Levantamiento Cuantitativo y Cualitativo de la Poligonal o sea medir la serie de puntos y rectas que el Ing. Localizador le fué dejando en su parte localizadora, así como dejar marcas a todo lo largo de la Poligonal a cada 20m, si esta acción se efectúa en el campo con estacas y referenciando cada PI que se vaya encontrando a lo largo del trazo.

Como se indica en fig.

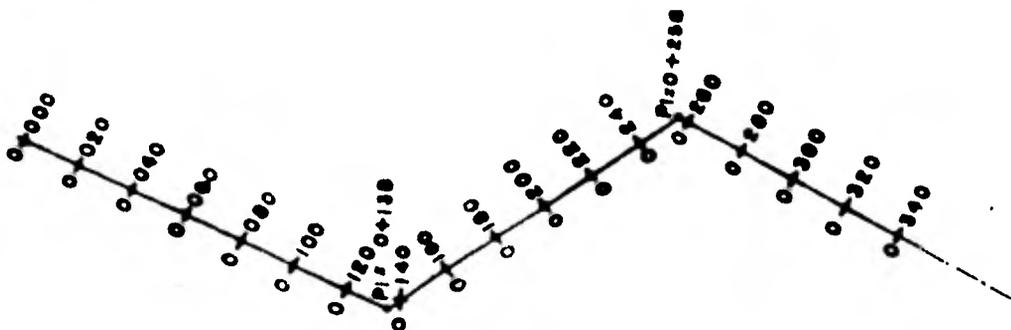


FIGURA II.1.1

En esta figura se muestra como se van poniendo los cadenamientos.

Este trazador puede igualmente llevar a cabo una Poligonal - de Apoyo terrestre, para levantar la zona en donde se implantará la obra, mediante el Método Fotogramétrico, que no es - más que poner una serie de puntos o señales perfectamente visibles para tomarse desde un avión, medir los ángulos en cada uno de estos puntos así como nivelarlos y orientar un lado cualquiera astronómicamente de la Poligonal para tener su Az. y la Fotogrametría se encarga de los detalles proporcionándonos las curvas de nivel que es una información para --- cualquier obra civil, muy valiosa. Lo anteriormente mencionado tiene aplicación tanto en el campo como en la ciudad, - no obstante en la ciudad, es preferible, llevar a cabo los - levantamientos mediante el Método directo, ya que de esta manera son menos los detalles que se escapan; durante la elaboración del Levantamiento, no descartamos de ninguna manera - el Método Fotogramétrico, pero la delicadeza del proyecto así como el valor del terreno y construcciones, nos obligan a sugerir el Método tradicional, sin el menosprecio de la Aerofotografía y la Fotogrametría (muy rápidos y económicos para las grandes obras).

Para la realización de la Poligonal se utilizó como mencionamos antes personal muy capacitado, tanto teórica como - prácticamente, así como equipo topográfico moderno entre el que podemos mencionar los aparatos WILD, los CARL ZEISS y para trabajos de menor precisión algunos transitos Rossbach, - Niveles Rossbach y otras marcas más.

La Poligonal de Apoyo que se llevó a cabo para esta obra fué

desarrollada mediante Poligonales menores a lo largo de todas las avenidas y calles, un ejemplo lo podemos ver en la planilla de calculo que nos muestra una de éstas, con sus respectivos vértices. Cada uno de los puntos de esta Poligonal generalmente fueron alojados en las aceras de la calle por donde pasaría la vía; la nomenclatura utilizada para los puntos de las poligonales obedece al nombre de la Avenida -- donde se aloja y el orden de la Poligonal, por ejemplo veamos la poligonal mostrada en el croquis de la Planilla de -- Cálculo; por la acera derecha (se mencionará derecha o izquierda del Eje siempre y cuando tomemos el orden ascendente del cadenamamiento del Eje de Viaducto), se pueden ver IB-1, - IB-2... hasta IB-17; donde "I" significa Inguaran y "B" orden de la Poligonal y los números arábigos , el número de vértice desde donde se radian los detalles, tales como: camellones, árboles, postes, vías de Ferrocarril, tranvía, parámentos, esquinas, guarniciones etc. etc. .

A lo largo de toda la obra se desarrollaron poligonales con las características de la poligonal que describimos anteriormente, desde la primera que se inicia en la parte más al Norte hasta llegar a la parte Sur, esto es, a la Av. Plutarco - Elías Calles, cerca de donde se implantará la estación cola denominada Santa Anita y por el Norte sobre Ferrocarril Hidalgo la estación cola denominada Martín Carrera antes Gustavo A. Madero.

Para efectos ilustrativos de esta Tesis se escoge como ejemplo una Poligonal de Apoyo del tramo Talismán-Bondojito, de la que diremos como se pueden medir los elementos topográficos

cos que intervienen en la misma, así como los aparatos y precisiones que se exigen en obras como ésta, aclarando que los métodos de medición no son los únicos ni los mejores, pero - que nos parecen por su sencillez y rapidéz de los buenos topográficamente hablando:

El método elegido, es el Método de Medida de "Ángulos Interiores" el cual consiste en centrar nuestro tránsito sobre - cualquiera de los puntos de la Poligonal, poner la gradua - ción del círculo horizontal marcando cero grados y apretando el movimiento particular del aparato así como el micrómetro (o vernier), hacer que marque cero minutos y cero segundos y en este momento, con el movimiento general flojo y en posición directa la alidada, hacer puntería en un punto anterior y procedemos a fijar el movimiento general y a aflojar el - particular girando hacia la derecha (para llevar un orden, - no siendo indispensable ya que puede girarse a la izquierda) y se biseca un punto posterior y en estos momentos se puede leer el ángulo en ese vértice.

Es recomendable medir estos ángulos en el sentido directo - del aparato y en el inverso del mismo, pues ya que con ésto se evita lo que se llama error por colimación del aparato; - al mismo tiempo a estas dos maneras de observar un ángulo se llama una serie, por lo que es muy ventajoso de una misma estación al medir su ángulo interior por lo menos con 3 series para promediar éstas y obtener así el valor más probable de ese ángulo. Se llega hasta este valor de series por estar - trabajando con precisiones topograficas, no aconsejándose lo mismo en los trabajos geodéticos, para los que hay que se---

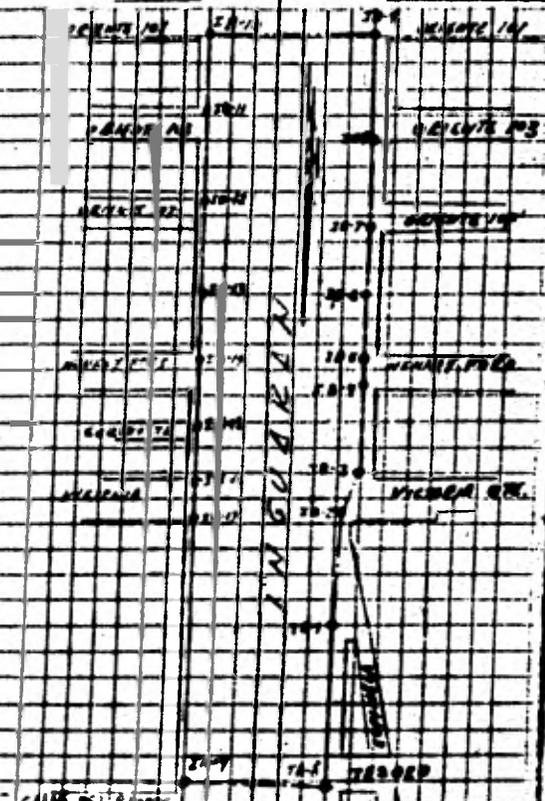
seguir otros principios que nos garanticen la precisión que los mismos requieren.

Desde los puntos de las poligonales de apoyo se fueron refiriendo las esquinas, los casellones, los árboles, los postes de luz, los arbotantes, los semáforos, las rejillas pluviales, las celaderas, los pozos de visita de los drenajes, las válvulas de agua potable, los gasoductos, los postes de alta tensión, las de teléfonos, los de telégrafos, las guarniciones, el ancho de las calles, los jardines, etc. todos estos elementos integrados a la mencionada poligonal por medio de un ángulo horizontal y una distancia, tal y como lo mostraremos en el ejemplo que sigue, así mismo describo los registros que se usaron en la medición de ángulos horizontales y el de las radiaciones así como sus respectivos croquis:

TRAZO DE RADIACIONES L-4 SOBRE
INGUIRAN, DE TESORO A ORIENTE NI

F. J. BERTINO 16
D.C. 14-77
D.C. 15-77

EST	RY	RIST	ALTIM.	ALTIM.	ALTIM.
IA-2	11° 15' 00"	125.516			
IA-1	12° 00' 00"	125.551			
IA-5	0° 00' 00"				
IA-1	100° 00' 00"	125.551			
IA-2	100° 00' 00"	125.551			
IA-1	0° 00' 00"				
IA-2	11° 15' 00"	125.516			
IA-3	12° 00' 00"	125.551			
IA-3	0° 00' 00"				
IA-3	116° 17' 57"	125.771			
IA-4	116° 17' 57"	125.771			
IA-3	0° 00' 00"				
IA-4	116° 17' 57"	125.771			
IA-5	116° 17' 57"	125.771			
IA-4	0° 00' 00"				
IA-5	116° 17' 57"	125.771			
IA-6	116° 17' 57"	125.771			
IA-6	0° 00' 00"				
IA-7	116° 17' 57"	125.771			
IA-6	0° 00' 00"				
IA-7	116° 17' 57"	125.771			
IA-8	116° 17' 57"	125.771			



8

La Poligonal de Apoyo como ya mencionamos antes fué llevada por las aceras de las calles por donde se llevaría a cabo la obra, en las partes donde iba a haber afectación se extendían estas poligonales abarcando dos o más manzanas, esto es, a uno y a otro lado de la calle que alojaría la obra del Metro, así mismo estos levantamientos servirían para hacer los nuevos desvíos de drenaje o agua potable o nuevas descargas de estas obras, que interferirán la construcción de la obra del Metro.

Los ángulos de los detalles se midieron de igual manera que los ángulos de la poligonal o sea con el mismo cuidado para no alterar la precisión y confiabilidad del trabajo.

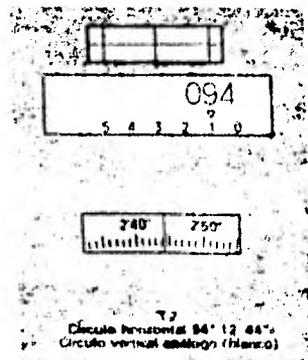
Los aparatos usados fueron, recalcando lo anterior, en la medición de ángulos, el teodolito Wild T2 cuyas características más elementales se mencionan a continuación

Fig. II-1.3

T 2

El teodolito universal Wild T2 es utilizable para casi todos los trabajos de la topometría levantamiento topométrico, mediciones en las obras públicas y en la industria o en las determinaciones astronómicas de campaña. La alta precisión se garantiza leyendo los círculos en lugares diametralmente opuestos por medio de un micrómetro óptico.

El empleo abundante del acero garantiza una alta estabilidad y una constancia de ajuste, aun bajo temperaturas extremas y con un trato brusco. Lectura semiautomática de los círculos, índice del círculo vertical automático, plomada óptica en la base nivelante separable y para centrado torzado.



Los lados de las poligonales se midieron en su mayoría con cinta y de IDA y REGRESO, para promediar éstas.

El aparato Wild los construye la casa Wild Heerbrugg Ltda. - de Heerbrugg Suiza y se distribuye en México.

Para el funcionamiento de este aparato se puede consultar -- con toda claridad y precisión el manual o instructivo para - el empleo del Wild T2 que regalan en las oficinas de aquí -- del D.F. o bien escribiendo a Wild Heerbrugg Ltda. CH-9435 Heerbrugg/Suiza, Fábrica de Optica Electrónica y Mécanica de Precisión.

El uso de estos aparatos que constituyen un avance muy importante dentro de la Topografía, ya que con ellos se obtiene, rapidez, seguridad y precisión en trabajos como estos.

Se alcanzan precisiones muy buenas (dependiendo de la habilidad del operador).

De todas las poligonales, la más baja en precisión fue ----- 1:31 000 y la más alta 1:51 000, como se puede ver en promedio se obtuvo la precisión de 1:39 000, la que se acepta como muy buena, para ser utilizado el levantamiento con fines topográficos.

La condición de cierre angular de cada poligonal cumplió también con el teorema que dice que la suma de los ángulos interiores de toda poligonal cerrada es igual a $180^\circ (n-2)$ donde "n" es el número de ángulos interiores del polígono y que matemáticamente se representa como $\text{Ang. Int.} = 180^\circ (n-2)$. Y el error o tolerancia angular $T = \pm u\sqrt{n}$ donde $u =$ aproximación del aparato, $n =$ número de ángulos de la poligonal.

Los errores de cierre angular oscilaron en un rango de $\pm 2''$ y

yf10".

La compensación lineal se llevó al cabo por el Método del -- Tránsito.

Las precisiones ya se mencionaron anteriormente y aparecen -- también en la planilla de cálculo, ver la misma.

Se orientó una de las líneas de la primera poligonal con el sol, la latitud la tomaron gráficamente de una carta geográfica de las que proporciona DEPENAL (El Departamento de Estudios del Territorio Nacional), esta información me fué proporcionada por el personal ISTNE y Aerofoto que intervino directamente en este trabajo, igualmente solicité la hoja de -- cálculo del Az. la que no encontraron de momento en el Archivo, por lo que no pude obtener el mencionado cálculo.

Este incidente me es favorable pues ya que la intención es -- exponer la manera de dar Azimut astronómico a un lado de una poligonal y así, tener localizada la obra de una manera as-- tronómica.

Una vez mencionado lo anterior pasamos a explicar la forma -- de orientar una línea o lado de una poligonal astronómicamente, haciendo la aclaración de que esta orientación astronómica fué de tercer orden o sea para efectos Topográficos.

El método utilizado para darle Azimut a una línea, en este -- caso la que tomamos como ejemplo es el llamado de ALTURAS -- ABSOLUTAS DEL SOL.

Antes de iniciar el proceso para obtener el Az. de la Línea propuesta, necesitaba conocer la latitud del lugar, yo no la conocía, pero sabía que la podía obtener gráficamente de una carta, use de las del DEPENAL, esta latitud desde luego muy

aproximada, nunca mejor que la observada por alguno de los métodos existentes, pero que para efectos topográficos funciona. Para la obtención aproximada de la latitud no se necesita más que como dejamos antes un plano o mapa de la zona que esté a una escala adecuada, que tenga claros los paralelos, el grado o latitud que les corresponda, la escala ----- 1:20 000 ó 1:30 000 por ejemplo, para identificar más fácilmente la zona y poder utilizar un escalímetro; un par de esquadras, un lápiz y una hoja de papel.

Como se puede ver todo esto es muy fácil de obtener, si es que existe mapa geográfico de la zona requerida. Para el caso del D.F. que es un lugar donde trabajamos en esta tesis es muy fácil obtener estos elementos, pero supongamos que -- por alguna razón, algún elemento falla, o como sabemos aun -- muchas zonas de nuestro territorio no han sido voladas fotogramétricamente y que por lo tanto no existen cartas a escalas adecuadas. Por lo que para medir la latitud del lugar -- que requerimos y la aproximación necesitada, preferí observar y calcular la latitud de un punto o estación por el método de DOS POSICIONES DEL SOL, método que nos proporciona una precisión de $\pm 1'$ ó $\pm 2'$ y que para efecto de trabajos Topográficos es buena esta precisión, aclarando que en los trabajos topográficos no interviene la curvatura de la tierra, es to es, que las areas y distancias las tomamos como si estuviéramos en un plano, de aquí que la precisión antes mencionada sea buena para estos trabajos.

Para el método de DOS POSICIONES DEL SOL, la latitud se obtiene como su nombre lo indica en dos posiciones diferentes

del sol, y lo más conveniente que entre una observación y otra al sol se dejen pasar de 20 a 30 minutos. Posteriormente de las observaciones, éstas debidamente corregidas por refracción, paralelaje y presión, la latitud la podemos obtener mediante las fórmulas:

$\text{Sen } \phi = \text{Sen } A_m \text{ Sen } \delta + \text{Cos}^2 A_m \left(\frac{B}{I} \right)$ que aparece en el anuario.

dónde ϕ : es la latitud del lugar que queremos

$$A_m = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

A_1 : es la altura del sol en la primera observación.

A_2 : es la altura del sol en la segunda observación.

δ : es la declinación del sol en el momento de la observación, viene en el anuario para las 12.00 horas y el meridiano 90° .

$B = b_2 - b_1$: diferencia de lecturas del círculo horizontal de la primera serie con la segunda serie.

b_1 y b_2 : es el ángulo que hay de una señal cualquiera al sol en el momento de la observación.

$I = t_2 - t_1$: I= Intervalo de tiempo entre dos observaciones, reducido a minutos de arco.

t_1 y t_2 : son los tiempos leídos en el momento de la observación.

Recalcamos una vez más que para obtener buena aproximación en la latitud por este método ($\pm 1'$, ó $\pm 2'$), la experiencia recomienda que el intervalo (I, Tiempo) se mida al segundo, lo que implica que el tiempo sea muy bien controlado, lo cual no siempre es factible de lograr, por muchas circunstancias, por lo que podemos emplear otra fórmula en la que no

participe este intervalo (I).

$$\text{Sen } \phi = \text{Sen } A_m \text{ Sen } \delta + \text{cos } A_m \text{ cos } \delta \text{ cos } Q$$

En esta fórmula lo único nuevo es Q pero:

$$\text{Cot } Q = \frac{B \text{ cos } A_m}{A_2 - A_1} \implies Q = \text{Aro Cotan} \left(\frac{B \text{ cos } A_m}{A_2 - A_1} \right)$$

donde B, A_m , A_2 , A_1 , tienen los mismos valores que la fórmula anterior; es ventajosa esta fórmula por no intervenir el tiempo, que no es fácil a veces controlar, por falta práctica a los ayudantes que nos auxilian en estos trabajos.

La forma de proceder es como sigue:

I) Preparemos nuestro cronómetro, que puede ser para este tipo de observación un reloj electrónico de los que fácilmente se consiguen en el mercado, hoy en día, existen en el comercio desde los que marcan el minuto hasta los que marcan el segundo y algunos que hasta el decimo de segundo, pero para esta observación es suficiente el que marca el segundo (ya que es mucho para el método usado).

El cronómetro lo podemos echar a andar mediante la señal de radio que emite la oficina de la hora del Instituto de Astronomía en C.U. que se transmite por XBA 6976.8 khz o las de la W.W.V. de Boulder Colorado; las de Cd. Universitaria solo se transmiten a las 10, 12 y 18 horas y las de la W.W.V. son continuas. En ambos casos se requiere un receptor de onda corta. Pero como al echar a andar el cronómetro no es posible que lo hagamos con el campanazo o señal del radio, o es posible que el cronómetro se atrase, o se adelante, resultando con estos detalles que nuestro cronóme-

tro tenga un ΔT en más o en menos. Este ΔT también es debido a que las observaciones no las hacemos en el momento -- que echamos a andar el cronómetro, por lo que tendremos que comparar nuestro cronómetro nuevamente con la señal que emiten las estaciones de radio antes mencionadas.

Nota:

Es recomendable para hacer nuestras observaciones al sol entre las 7 y las 9, horas o bien, entre las 15 y las 17 horas para que la altura del sol no sea muy grande y se nos dificulte hacer nuestras lecturas a través del microscopio de -- lecturas, claro esto es problema si no tenemos el juego de oculares acodados, pero si lo tenemos no significa problema -- la lectura (en los aparatos Wild o en los que leemos el ángulo a través de tubo microscópico), no siendo problema en los tradicionales, como los Choper o los Kauffell que traen el -- círculo vertical a un lado y a la vista.

II) Con el aparato bien revisado, esto es, que cumpla con las condiciones del Tránsito a saber:

- a) Las directrices de los niveles del limbo horizontal deben ser perpendiculares al eje vertical o Azimutal del aparato.
- b) Los hilos de la retícula deben ser perpendiculares a los ejes respectivos, esto es, al eje Azimutal y al de alturas.
- c) La Línea de colimación debe ser perpendicular al eje Horizontal o de alturas.
- d) El eje de alturas o eje horizontal debe ser perpendicular

al eje Azimutal.

e) La directriz del nivel del telescopio en los aparatos --- Rosbach o Kauffell and Ecer, no siendo necesario en los aparatos Wild que no poseen dicho nivel en el telescopio. Estas son las condiciones que deberá cumplir todo tránsito -- antes de comenzar a medir tanto ángulos horizontales como -- verticales.

III) Cumplidos los incisos I y II, colocamos nuestro aparato sobre uno de los extremos de la línea por orientar, lo nivelamos cuidadosamente, ponemos el micrómetro o vernier que -- marque cero minutos, cero segundos, así como la graduación -- del círculo horizontal marcando cero grados, ésto se logra -- con los movimientos finos de los tangenciales. Ejecutando es-- to se supone fijo el movimiento particular o sea la alidada, a continuación se afloja el movimiento general o del limbo y se dirige la visual hacia el otro extremo de la línea (éste puede ser un punto cualquiera) y se fija este movimiento, a-- flojando enseguida el movimiento particular y dirigiendo el telescopio hacia el sol, sin ver directamente a éste, fija-- mos el movimiento particular y con el movimiento fino (el -- tangencial) del movimiento particular seguir al sol y proyec-- tándolo sobre una pequeña cartulina blanca enfocar posterior-- mente hasta que también los hilos de la retícula se proyec-- ten sobre la cartulina; los hilos de la retícula están dispu-- estos formando cuatro cuadrantes, llevar al sol por medio de los tornillos tangenciales vertical y horizontal a uno de los cuadrantes, (para esta fecha se recomienda el segundo cua---

drante en la posición inversa del mismo), el sol se seguira como ya mencionamos antes con los tangenciales del vertical y el horizontal (tangencial, del movimiento particular) se observa el "movimiento" del sol y se coloca éste un poco antes del hilo horizontal, para manejar el tangencial vertical y en estos momentos pronunciamos las frases de ATENCION LISTOS..., para que el personal que nos ayuda sobre todo el que vá a tomar el tiempo, comience a observar el segundero o el segundo, según el cronómetro, y en el momento que el sol haga tangencia con los hilos de la retícula que forman el cuadrante aludido, dar la voz de "OP", y en este instante el ayudante que vigila el cronómetro anota el tiempo, el Ingeniero que maneja el aparato dictará el ángulo horizontal y el vertical, al anotador; rápidamente se hace otra tangencia del sol, siguiendo la misma mecánica anterior, o sea se vuelve a poner el sol antes de los hilos del cuadrante en el que se está operando, se dan las voces de ATENCION LISTOS... "OP" y se toman el tiempo, se dictan los ángulos horizontal y vertical, y se hace una nueva tangencia siguiendo la misma mecánica y se da vuelta de campana al telescopio, se busca al sol y se mete en el cuarto cuadrante, la rutina de las observaciones anteriores es la misma, se hacen 3 tangencias del sol en esta posición y se regresa a observar nuevamente el punto extremo de la línea que se había observado al principio, y leeremos en el círculo horizontal, si es que pusimos el vernier en $00^{\circ} 00' 00''$ y no se nos movió el aparato, la lectura de 180° ó muy parecida a ésta. Si llegamos a leer una pequeña diferencia en más o menos, siempre y cuando ésta no rebese la aproximación del aparato

que estamos utilizando para la observación, no debemos preocuparnos, (estos son los criterios de los constructores de los aparatos, así como el del Ing. Miguel Montes de Oca y el Ing. Ricardo Toscano).

Concluidas las 3 observaciones en directa y las 3 en inversa tenemos lo que se llama una SERIE. Dejaremos pasar de 20 a 30 minutos para efectuar la otra serie que se hará de la misma manera que ésta, y será de las mismas que sacaremos los datos, tales como $A_1, A_2, t_1, t_2; H_1, H_2$; que nos servirán para el cálculo de la latitud del lugar, como en el ejemplo siguiente:

DETERMINACION DE LA LATITUD DE UN LUGAR POR OBSERVACIONES DEL SOL EN DOS POSICIONES.

Fecha de Observación ----- 21 de Junio de 1979.
 Lugar de Observación ----- Sobre Trabe TB-31 y TB-32
 en Eje de Viaducto F.1e
 3-4.
 Observador ----- Ubertino González Gles.
 Aparato ----- Wild T-1
 Temperatura ----- X
 Presión ----- X

R E G I S T R O
 PRIMERA OBSERVACION

No. de Observ.	EST.	P.V	C.V.	HORA	C. H.	C. V.	OBSERV.
	4	Señal 3			00° 00' 00"		R.M.O.
1	Sol		I	7h 52 ^m 06s	49° 24' 33"	65° 42' 33"	NE 19°
2	Sol		I	7 52 56	49 27 06	65 31 08	11' 40"
3	Sol		I	7 53 40	49 29 36	65 21 08	••
4	Sol		D	7 54 36	228 57 52	294 21 28	••
5	Sol		D	7 55 22	229 00 37	294 31 46	•
6	Sol		D	7 56 08	229 02 58	294 42 08	
	3				180 00 05		

Intervalo de 20 a 30 minutos.

SEGUNDA OBSERVACION

No. de Observ.	EST.	P.V	C.V.	HORA	C. H.	C. V.	OBSERV.
	4	Señal 3			00° 00'00"		R.M.) NE
1	Sol	+	I	8 ^h 16 ^m 29 ^s	50 37 26. 60°	13 04 19°	11° 40"
2	Sol	+	I	8 17 26	50 38 54 60	00 12	*
3	Sol	+	I	8 19 16	50 44 09 59	35 27	**
4	Sol	+	D	8 20 09	230 10 06 300	06 27	**
5	Sol	+	D	8 20 45	230 11 49 300	14 38	*
6	Sol	+	D	8 21 31	230 13 53 300	24 57	
		Señal 3			180°00'06"		

Las cantidades que tienen el asterisco son las que se tomaron para el cálculo de la latitud, en la inteligencia de que las mencionadas cantidades antes de intervenir en el cálculo --- fueron debidamente corregidas por refracción y paralaje.

Se observó nuevamente el día 22 de Junio de 1979 para comprobar con los resultados anteriores y así tener un poco más -- seguridad en nuestra latitud. Además estos mismos datos los usamos para la fórmula en la que no interviene el tiempo sino que interviene el factor $Q = \text{Arc Cot. } \frac{B \cos Am}{A2-A1}$.

PRIMERA SERIE

No. de Observ.	EST.	P.V.	C.V.	HORA	C. H.	C. V.	Observ.
	4	Señal 3			00° 00' 00"		R.M.O.
1	Sol	☉	I	7 ^h 33 ^m 14 ^s	48° 22' 46"	69° 58' 06"	NE 19°
2	Sol	☉	I	7 34 00	48 25 26	69 48 08	II' 40"
3	Sol	☉	I	7 34 39	48 27 28	69 39 14	*
4	Sol	☿	D	7 35 47	227 58 04	290 05 46	*
5	Sol	☿	D	7 36 37	228 00 53	290 17 04	
6	Sol	☿	D	7 37 20	228 03 16	290 26 40	
		Señal 3			180 00 06		

Intervalo de 20 a 30 minutos.

SEGUNDA SERIE

No. de Observ.	EST.	P.V.	C.V.	HORA	C. H.	C. V.	Observ.
	4	Señal 3			00° 00' 00"		R.M.O.
1	Sol	☉	I	7 ^h 54 ^m 59 ^s	49° 29' 55"	65 19 30	NE 19°
2	Sol	☉	I	7 55 43	49 32 07	65 09 59	II' 40"
3	Sol	☉	I	7 56 45	49 35 19	64 56 20	*
4	Sol	☿	D	7 57 25	229 05 54	294 56 36	*
5	Sol	☿	D	7 58 18	229 08 32	295 08 00	
6	Sol	☿	D	7 59 11	229 11 05	295 20 19	
		Señal 3			180 00 06		

Para el cálculo de A_z , se utilizó la fórmula siguiente :

$$\cos A_z = \frac{\text{Sen } \delta - \text{Sen } \phi \text{ Sen } A}{\cos \phi \cos A}$$

, esta fórmula resulta directamente del Triángulo Astronómico, y con procedimiento muy parecido al utilizado en el Anuario astronómico, hicimos nuestro cálculo.

Alturas observadas

$$z_1 = 65^\circ 29' 41''$$

$$z_2 = 59^\circ 52' 47''$$

Cálculo de los factores de Refracción y Paralaje:

$$R_1 = 60.6'' \tan z_1 = 00^\circ 02' 12.94''$$

$$R_2 = 60.6'' \tan z_2 = 00^\circ 01' 44.46''$$

$$P_1 = 8.8'' \sin A_1 = 00^\circ 00' 04.00''$$

$$P_2 = 8.8'' \sin A_2 = 00^\circ 00' 04.42''$$

Corrección a las alturas por Refracción y Paralaje:

$$\begin{array}{r} z_1 = 65^\circ 29' 41'' \\ + R_1 = \quad 2 \quad 12.94'' \\ \hline 65 \quad 31 \quad 53.94 \\ - P_1 = \quad \quad \quad 4.00 \\ \hline z_{1c} = 65^\circ 31' 49.94'' \end{array}$$

$$\begin{array}{r} z_2 = 59^\circ 52' 47'' \\ + R_2 = \quad 1 \quad 44.46'' \\ \hline 59 \quad 54 \quad 31.46 \\ - P_2 = \quad \quad \quad 4.42 \\ \hline z_{2c} = 59^\circ 54' 27.04'' \end{array}$$

CORRECCIONES A LA DECLINACION :

$$\begin{array}{r} t_{M900} = 12^h 01^m 37.53^s \\ - t_{ML} = 7^h 54^m 09.00^s \\ \hline \quad \quad \quad 4^h 07^m 28.53^s \end{array}$$

$$(4.124591666) (+1.28'') = 5.28''$$

$$\begin{array}{r} \delta = 23^\circ 26' 38.78'' \\ + \quad \quad \quad 5.28'' \\ \hline \delta = 23^\circ 26' 44.06'' \end{array}$$

$$\begin{array}{r} t_{M900} = 12^h 01^m 37.53^s \\ - t_{ML} = 8^h 19^m 11.00^s \\ \hline \quad \quad \quad 3^h 42^m 26.53^s \end{array}$$

$$(3.707369444)(+1.28'') = 4.75''$$

$$\begin{array}{r} \delta = 23^\circ 26' 38.78'' \\ + \quad \quad \quad 4.75'' \\ \hline \delta = 23^\circ 26' 43.53'' \end{array}$$

Obtenidos todos los datos anteriores corregidos, se procede a calcular la Latitud como sigue :

Serie I $t_1 = 7^h 54^m 09^s$ $H_1 = 49^\circ 13' 52''$ $A_1 = 24^\circ 28' 10.06''$

Serie II $t_2 = 8^h 19^m 06^s$ $H_2 = 50^\circ 25' 22''$ $A_2 = 30^\circ 05' 32.96''$

DATOS

$$\delta = 23^\circ 26' 44''$$

$$A_m = 27^\circ 16' 52''$$

$$B = 1^\circ 11' 30''$$

$$I = 60.2375$$

FORMULA

$$\text{Sen } \phi = \text{sen } A_m \text{ sen } \delta + \frac{B}{I} \text{ cos}^2 A_m$$

OPERACIONES

$$\text{Sen } A_m = 0.4583565$$

$$\text{Sen } \delta = 0.3978774$$

$$\text{Sen } A_m \text{ Sen } \delta = 0.1823696$$

$$\frac{B}{I} = 0.1910487$$

$$\text{Cos}^2 A_m \frac{B}{I} = 0.7899092$$

$$\frac{B}{I} \text{ Cos}^2 A_m = 0.1509111$$

$$\text{Sen } \phi = 0.3332808$$

$$\phi = 19^\circ 28' 04.92''$$

CALCULOS PARA EL AZIMUT

1.- Fecha	21-VI-79	21-VI-79
2.- Series	I	II
3.- Declinación	23° 26' 44"	23° 26' 44"
4.- Altura	24° 28' 10"	30° 05' 33"
5.- Latitud	19° 28' 04.92"	19° 28' 04.92"
6.- Sen δ	0.3978775	0.3978775
7.- Cos δ	0.9174386	0.9174386
8.- Sen h	0.4142079	0.5013975
9.- Cos h	0.9101823	0.8652171
10.- Sen ϕ	0.3332808	0.3332808
11.- Cos ϕ	0.9428275	0.9428275
12.- (8 X 10)	0.1380475	0.1671062
13.- 6 - (8 X 10)	0.2598299	0.2307713
14.- (9 X 11)	0.8581449	0.8157504
15.- 13 \div 14	0.3027809	0.2828944
16.- Az. desde el Norte (Arc Cos de 15)	72° 22' 31"	73° 34' 01.08"
17.- Lectura del Sol	49° 13' 52"	50° 25' 22"
18.- 16-17 (Norte Meridiano)	23° 08' 39"	23° 08' 39.09"
19.- Lectura a la Señal	00° 00' 00"	00° 00' 00"
20.- Az. de la línea (4 - 3)	23° 08' 39"	23° 08' 39"

∴ Azimut promedio de la línea 4 - 3 : Az. = 23° 08' 39"

Para Valores *

Alturas sin corregir

$$Z_1 = 65^\circ 29' 50''$$

$$Z_2 = 59^\circ 44' 30''$$

Cálculo de los factores de Refracción y Paralaje:

$$R_1 = 60.6'' \tan Z_1 = 00^\circ 02' 12.96''$$

$$R_2 = 60.6'' \tan Z_2 = 00^\circ 01' 43.88''$$

$$P_1 = 8.8'' \operatorname{sen} A_1 = 00^\circ 00' 03.65''$$

$$P_2 = 8.8'' \operatorname{sen} A_2 = 00^\circ 00' 04.43''$$

Corrección a las alturas por Refracción y Paralaje:

$$\begin{array}{r} Z_1 = 65^\circ 29' 50'' \\ + R_1 = \quad \quad 2' 12.96'' \end{array}$$

$$\begin{array}{r} Z_2 = 59^\circ 52' 47'' \\ + R_2 = 00^\circ 01' 43.88'' \end{array}$$

$$\hline Z_{CR} = 65^\circ 32' 02.96''$$

$$\hline Z_{CR} = 59^\circ 54' 30.88''$$

$$- P_1 = \quad \quad \quad 3.65''$$

$$- P_2 = 00^\circ 00' 04.43''$$

$$\hline Z_{c1} = 65^\circ 31' 59.31''$$

$$\hline Z_{c2} = 59^\circ 54' 26.45''$$

CORRECCIONES A LA DECLINACION :

$$- t_{M90^\circ} = 12^h 01^m 37.53^s$$

$$- t_{M90^\circ} = 12^h 01^m 37.53^s$$

$$- t_1 = \quad 7 \quad 54 \quad 08.00$$

$$- t_2 = \quad 8 \quad 19 \quad 43.00$$

$$t_L = \quad 4 \quad 07 \quad 29.53$$

$$t_L = \quad 3 \quad 41 \quad 54.53$$

$$C_1 = 4.1248694 (1.28'') = 5.28''$$

$$C_2 = 3.6984722 (1.28'') = 4.73''$$

$$\delta = 23^\circ 26' 38.78''$$

$$\delta = 23^\circ 26' 38.78''$$

$$- C = \quad \quad \quad 5.28''$$

$$- C = \quad \quad \quad 4.73''$$

$$\hline \delta_{C1} = 23^\circ 26' 33.50''$$

$$\hline \delta_{C2} = 23^\circ 26' 34.05''$$

CALCULO DE LA LATITUD (Segundos Valores)

Serie I $t_1 = 7^h 54^m 08^s$ $H_1 = 49^\circ 13' 44''$ $A_1 = 24^\circ 28' 00.69''$
 Serie II $t_2 = 8^h 19^m 43^s$ $H_2 = 50^\circ 27' 08''$ $A_2 = 30^\circ 05' 33.50''$

DATOS

$$\delta = 23^\circ 26' 34''$$

$$A_m = 27^\circ 16' 47''$$

$$B = 1^\circ 13' 24''$$

$$I = 6^\circ 23' 45''$$

FORMULA

$$\text{Sen } \phi = \text{sen } A_m \text{ sen } \delta + \frac{B}{I} \text{Cos}^2 A_m$$

OPERACIONES

$$\text{Sen } A_m = 0.4583354$$

$$\text{Sen } \delta = 0.3978330$$

$$\text{Sen } A_m \text{ Sen } \delta = 0.1823409$$

$$\frac{B}{I} = 0.1912703$$

$$\text{Cos}^2 A_m = 0.7899290$$

$$\frac{B}{I} \text{Cos}^2 A_m = 0.15109$$

$$\text{Sen } \phi = 0.3334309$$

$$\phi = 19^\circ 28' 37.7''$$

era valores * *

CALCULOS PARA EL AZIMUT

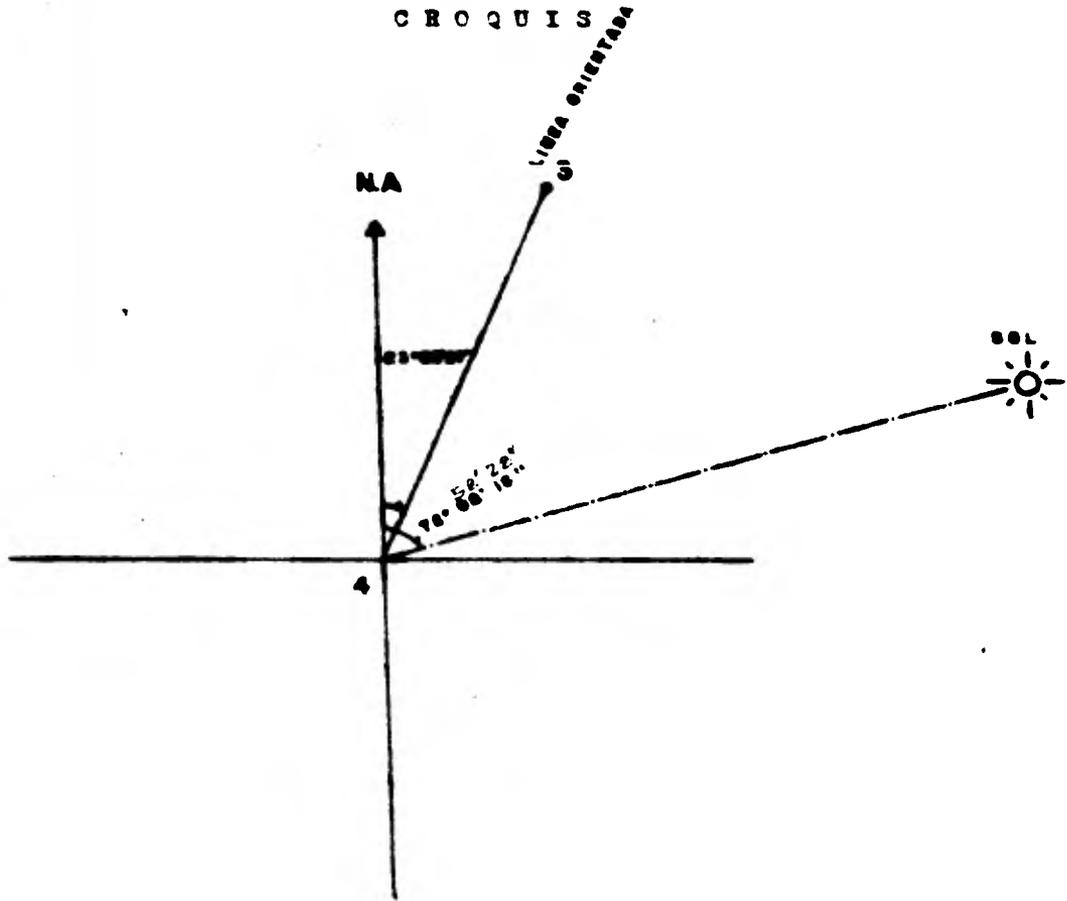
1.- Fecha	21-VI-79	21-VI-79
2.- Series	I	II
3.- Declinación	23° 26' 34"	23° 26' 34"
4.- Altura	24° 28' 00"	30° 05' 33"
5.- Latitud	19° 28' 37.7"	19° 28' 37.7"
6.- Sen δ	0.3978330	0.3978330
7.- Cos δ	0.9174579	0.9174579
8.- Sen h	0.4141637	0.5013974
9.- Cos h	0.9102023	0.8652170
10.- Sen ϕ	0.3334307	0.3334307
11.- Cos ϕ	0.9427746	0.9427746
12.- (8 X 10)	0.1380948	0.1671813
13.- 6" - (8 X 10)	0.2597381	0.23065170
14.- (9 X 11)	0.8581156	0.81570460
15.- 13 \div 14	0.3026842	0.2827637
16.- Az. desde el Norte (Arc Cos de 15)	72° 22' 52"	73° 34' 29"
17.- Lectura del Sol	49° 13' 44"	50° 27' 08"
18.- 16 - 17	23° 09' 08"	23° 07' 21"
19.- Lectura a la señal	00° 00' 00"	00° 00' 00"
20.- Az. de la línea (4-3)	23° 09' 08"	23° 07' 21"

°. Azimut promedio de la línea 4 - 3 : Az. = 23° 08' 15"

Para Valores * *

Azimat de la Línea 4 - 3, Az. = $23^{\circ} 08' 27''$

CROQUIS



CALCULO DE LOS RUMBOS

El cálculo de los rumbos se efectúa por el método descrito en el libro TOPOGRAFIA GENERAL y escrito por el Ing. Topógrafo - Sabro Higashida Miyabara, quien fué Profesor titular de carrera y Jefe de Cátedra de Topografía General en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., el mencionado método se localiza - en las páginas 71, 72, 73, 74 de la edición 1971.

No se profundiza más este método por ser muy sencillo, rápido comprobable y por estar mejor redactado en la obra antes mencionada, esto es, se parte con un rumbo cualquiera, por ejemplo el de la línea IB6-IB7SE $36^{\circ} 39' 06''$ y se tiene que --- llegar a este mismo, lo cual es una garantía de comprobación en el cálculo de los rumbos de las poligonales.

El único requisito que este método exige es que la suma de -- los grados de los ángulos interiores sea igual a ciento ochenta grados por ene menos dos ángulos de la poligonal, esto es,

Σ de Angs. Int. = $180^{\circ} (N - 2)$ donde N = Número de An- - gulos.

A continuación se presenta el cálculo de los rumbos de la poligonal que tomamos como ejemplo:

CALCULO DE LOS RUMBOS DE LA POLIGONAL "IB"

IB6-IB7 SE.	$36^{\circ} 39' 06''$
IB7	$176^{\circ} 27' 41''$
<hr/>	
	$139^{\circ} 43' 39''$
	$179^{\circ} 59' 65''$
<hr/>	
IB7-IB8 SE	$40^{\circ} 11' 25''$

IB7-IB8 SE 40° 11' 25"
IB8 179 59 60

139 48 35
179 59 60

IB8-IB9 SE 40 11 25
IB9 86 36 32

IB9 IB10 NE 46 25 07
IB10 93 16 47

139 41 54
179 59 60

IB10-IB11 NW 40 18 06
IB11 179 59 60

139 41 54
179 59 60

IB11-IB12 NW 40 18 06
IB12 193 19 42

143 01 36
179 59 60

IB12-IB13 NW 36 58 24
IB13 179 59 60

143 01 36
179 59 60

IB13-IB14 NW 36 58 24
IB14 179 51 26

142 53 02
179 59 60

IB14-IB15 NW 37 06 58
IB15 179 59 60

142 53 02
179 59 60

IB15-IB16 NW 37 06 58
IB16 179 59 60

142 53 02

142° 53' 02"
179 59 60

IB16-IB17 NW 37 06 58
IB17 181 11 53

144 04 55
179 59 60

IB17-IA9 NW 35 55 05
IA9 86 37 35

IA9-IA8 SW 50 42 30
IA8 92 48 20

143 30 50
179 59 60

IA8-IB1 SE 36 29 10
IB1 180 23 21

143 54 11
179 59 60

IB1-IB2 SE 36 05 49
IB2 192 40 48

156 34 59
179 59 60

IB2-IB3 SE 23 25 01
IB3 166 17 40

142 52 39
179 59 60

IB3-IB4 SE 37 07 21
IB4 180 23 15

143 20 54
179 59 60

IB4-IB5 SE 36 39 06
IB5 179 59 60

143 20 54
179 59 60

IB5-IB6 SE 36 39 06
IB6 179 59 60

143 20 54
179 59 60

IB6-IB7 SE 36 39 06

El método de compensación de la poligonal como se mencionó antes es el llamado Tránsito; método en el que se consideran:

- a) Accidentales los errores de levantamiento por poligonales.
- b) La precisión de las distancias son inferiores a la de la medida de los ángulos, en nuestro caso $\Sigma \text{ Ang. --- Int.} = a 180^\circ (19 - 2) = 3.060^\circ$ y la suma de los ángulos interiores medidos en campo se pasó 2", esto es, $- 3 060^\circ 00' 02''$, por lo que elegimos este método de compensación, en el cual se reparten los errores de cierre de las proyecciones proporcionalmente a las proyecciones de cada lado, es decir, $ex = Ex \frac{X}{(X)}$, $ey = Ey \frac{Y}{(Y)}$.

En los cuales:

ex : corrección a la proyección de un lado sobre el eje de las abscisas.

ey : corrección a la proyección de un lado sobre el eje de las ordenadas.

Ex : error de cierre de proyecciones en el eje de las abscisas.

Ey : error de cierre de proyecciones en el eje de las ordenadas.

X : proyección de un lado sobre el eje de las abscisas.

Y : proyección de un lado sobre el eje de las ordenadas.

(X): suma de las proyecciones sobre el eje de las abscisas.

(Y): suma de las proyecciones sobre el eje de las ordenadas.

Localización de Sondeos.

Para la realización del proyecto se requería tener más o menos localizado el eje de viaducto de la Línea. Lo cual - a estas alturas ya era posible; los proyectistas (los estructuristas) hacen sus análisis sobre el plano del Levantamiento Topográfico, observando el número de calles y avenidas - que va a cruzar la Línea, así como sus respectivos anchos - (40 cm en promedio), para la determinación de los claros, - que se necesitan para los respectivos apoyos en donde descansarán las traveses sobre las cuales irán las vías, decididos - los claros (con sus respectivas dimensiones) por estas personas, son pasados al personal encargado de la Topografía quienes en campo se encargan de marcar sobre el trazo con sus -- respectivos cadenamientos cada uno de los SONDEOS.

A saber se hicieron 2 tipos de Sondeos, ALTERADOS E INALTERADOS, los primeros se marcan en cada uno de los apoyos (en -- donde va cada columna) desde 25,30,35 y 40m con excepciones de los pasos de Ferrocarril que son entre 10 y 11m o cruces con otras Líneas; los segundos sondeos, esto es, los Inalterados se hicieron a 200.00 y 300.00m de separación. La finalidad de los Sondeos Alterados es:

- a) la de poder formar un perfil ESTRATIGRAFICO de toda la -- Línea.
- b) Estudiar las características del material sobre el cual -- va a quedar la Línea, esto es conocer, el peso volumétrico -- del terreno, Resistencia al Corte, Resistencia a la Compresión y Resistencia a la deformación; todos estos parámetros son utilizados para el diseño de la estructura que se va a --

diseñar.

El Sondeo Inalterado sirva para estudiar más a fondo - las características del terreno mediante la extracción de - éste, en forma de Pastillas y con Técnicas de perforación - diferentes a las de los Sondeos Alterados ver parte del perfil de un plano en el que se representa el PERFIL ESTRATI-- GRAFICO DE LA LINEA CUATRO intitulado: Perfil Estratigráfico Detallado del Tramo: TALISMAN- BONDOJITO.

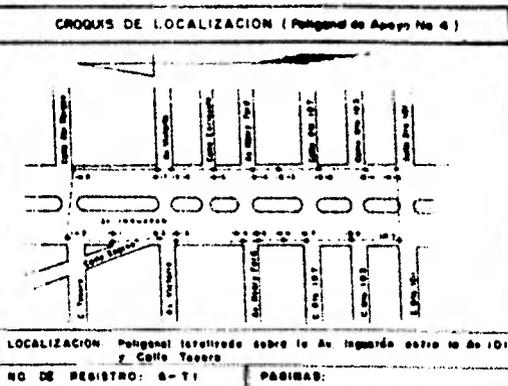
La profundidad de estos sondeos esta en función de la Profundidad a la que se encuentra la CAPA RESISTENTE del suelo esto es, a la profundidad a la que se encuentra la roca por ejemplo en la parte Norte de la Línea 4, la Capa Resistente se localiza a 30 ó 33m de profundidad y en la parte Sur a - 35 y 40 m.

En cada uno de los Sondeos Alterados se van aincar una serie pilotes que funcionaran como cimientos sobre los cuales se desplantará una zapata, un Dado y finalmente la columna que servirá de apoyo a las TRABES.

Como puede apreciarse aquí también tiene una parte muy decisiva la Topografía, ya que primero muestra al proyectista - un plano, del terreno con todos sus obstáculos accesos e interferencias. Y depende de la veracidad y precisión de este plano para que la obra tenga el menor número de tropiezos y atrasos y al mismo tiempo no se eleven los costos de la obra, cuestión esta última, decisiva en los concursos, para obtener la concesión a hacer la obra.

PLANILLA DE CALCULO PARA LA POLIGONAL NO. 4

LADO EST. P.M.	DISTR. EN (M)	ANGULOS CORREJIDOS	ANGULOS CORREJIDOS	R. A. C.	FUNCIONES		PROYECCIONES SIN CORRECCION			CORRECCIONES		PROYECCIONES CORREGIDAS			COORDENADAS		VER
					COSENO	SENO	(+) N	(-) S	(+) E	(-) W	Y	X	(+) N	(-) S	(+) E	(-) W	
10-0	100.000	00° 00' 00"		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	100.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-1	00.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-2	00.000	100 00 00	100° 00' 00"	01 00 00 01	0.01735110	0.00418000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-3	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	100.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-4	100.000	100 00 00	100 00 00	00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-5	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-6	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-7	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-8	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-9	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-10	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-11	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-12	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-13	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-14	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-15	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-16	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-17	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-18	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-19	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000
10-20	100.000	100 00 00		00 00 00 00	0.00000000	0.00000000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000	00.0000



0° = 00° 00' 00" 1" = 1/3600° = 0.000277778°
 10" = 00° 10' 00" 10" = 10/3600° = 0.002777778°
 1' = 00° 01' 00" 1' = 1/360° = 0.002777778°
 10' = 00° 10' 00" 10' = 10/360° = 0.027777778°

NO DE REGISTRO: 6-71	PAGINAS: 15, 17, 18, 19
LEVANTO: Urbino González Sica	FECHA: 21-VIII-70
CALCULO: Urbino González Sica	FECHA: 6-IX-70
REVISO: Ing. Alfonso Sánchez R.	DEPARTAMENTO: VIA y TOPOGRAFIA

C A P I T U L O I I I

Proyecto, Trazo y Referenciación del Eje.

PROYECTO DEL EJE

Por lo que se refiere a la Línea 4, dentro de ISTME, con asesoría de la SOCIETE FRANCAISE D' ETUDES ET DE REALISATION DE TRANSPORTS URBAINS (SOFRETU), han desarrollado toda una metodología que considera tres etapas: Selección de Ruta, Anteproyecto y Proyecto.

Una vez realizados los estudios socioeconómicos que justifican la construcción de esta nueva ruta o línea del Metro, fué necesario programar los estudios de viabilidad, que permitieran establecer la conveniencia y las prioridades para elaborar los nuevos proyectos y las obras correspondientes.

Con este fin, fué necesario desarrollar una serie de trabajos preliminares que comprendieron el estudio comparativo de todas las rutas posibles y convenientes, seleccionando la que se tiene actualmente con modificaciones muy ligeras, por lo que se considera la ruta inicial y la que más conviene a los intereses económicos y sociales.

Se entiende por Ruta una franja de terreno ancha y variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización del Eje de Viaducto. Los estudios de la mencionada ruta fueron hechos rápidos y precisos, en virtud de que cualquier servidumbre o expropiación por líneas de esta fuera reportaba un perjuicio en contra de los vecinos y donde problemas para el Gobierno del D.D.F.

Para proyectar el Eje de Viaducto, fueron necesarios un conjunto de datos que aportó el Levantamiento Fotogramétrico y el Levantamiento Fotogramétrico, así como los datos que aportaron la Geología, la Sismología, la Geofísica y la Geología de las

terminantes fueron las zonas que cruzan, a saber: industrial de clase humilde, comercial, etc.. Con esta cantidad de información fue posible diseñar con miras futuristas y dando resolución a una gran cantidad de problemas a mediano y largo plazo ya sea para el propio Sistema de Transporte Colectivo Metro o para otras dependencias Oficiales o privadas. Como es bien sabido en todas las obras de ingeniería, lo que debe prevalecer es la "eficiencia", la que en el caso de los ferrocarriles sería: con un mínimo de energía transportar el máximo de carga, por lo que desde el punto de vista topográfico se buscaran las mejores pendientes, esto es, las mínimas, las cuales seran muchas veces de ididas por el tipo de transporte que más circulará y la densidad del mismo (si predominan trenes de carga o de pasajeros). Lo ideal para la construcción de la vías ferreas, es que las pendientes sean igual a cero, aunque hoy en día con el uso de las máquinas eléctricas, las pendientes ya no son tan importantes, como cuando se movian las máquinas a base de vapor. Para la elección de las pendientes en el caso de la línea 4 del Metro fueron decisivos los cruces con avenidas importantes, así como, los cruces y en tronques con otras líneas, igual influencia tuvo la velocidad, la separación entre las estaciones, así como el diseño, estética y funcionalidad de las estructuras. Se puede apreciar que la Topografía de la Cuenca del Valle de México es de las más favorables para la construcción de vías ferreas, pues es casi plano, por lo que la pendiente gobernadora la decidió casi el mismo terreno aunado con los criterios anteriores. Por lo tanto la máxima pendiente de subruante que se observa en el

perfil de la línea es 1% en un tramo muy corto esto es en el cruce con la Línea 5 (entre Inguaran y Consulado) y la mínima 0.2% como podemos apreciar en el plano anexo del mencionado perfil las pendientes son muy pequeñas, en las cuales se podrían alcanzar velocidades grandes tratándose de ferrocarriles de carga y pasajeros; pero para la Línea que estamos tratando la velocidad máxima que se alcanzará en curvas será 70km/h --- considerando que no se rebasará debido a las separaciones que hay entre estación y estación (aproximadamente 1km).

RECOMENDACIONES DE SAHOP PARA LA CONSTRUCCION DE VIAS FERREAS

En la Secretaría de Asentamiento Humanos y Obras Públicas, --- SAHOP, se considera deseable que los ferrocarriles de la. ---- clase (A) puede operarse como mínimo a 100km/h (pasajeros y -- 75km/h (carga) en terrenos planos y suave lomerio, y admitiendo velocidades mínimas de 80 y 60km/h, respectivamente en las montañas.

Las pendientes para estas especificaciones, son 0.5% en lomerio y 0.7% en montaña; y como la misma SAHOP divide las vías - en A, B y C en función del tonelaje que transportan hacen las siguientes recomendaciones:

La clase (A) se considera recomendable para las vías con tráfico mayor de 5 millones de toneladas netas anuales de carga. La última clase (D) especifica tráfico anual mínimo de ----- 500,000 toneladas netas y se le asigna velocidades máximas de 30km/h (carga) y 50km/h (pasajeros) admitiendo curvaturas de 8 grados y pendientes máximas en 2% y 2.50%.

Especificar la pendiente y la curvatura en el diseño de el Eje

de la vía, es algo que precisan los proyectistas con mayor detalle para cada caso, donde como hemos dicho antes entran en juego el tipo de transporte, el balanceo del tráfico, los costos de la obra, y numerosos factores impiden aceptar a priori especificaciones recomendables, es por esto que se ha aceptado la asesoría francesa en las construcciones del Metro debido a la gran experiencia con que cuentan, más adelante hablaremos con mayor amplitud de la ayuda francesa, por lo tanto continuemos con los consejos que da el Ing. Francisco M. Tognó quien textualmente dice: se considera recomendable que la vía férrea para cualquier proyecto, use el mayor porcentaje de líneas rectas ligadas con curvas del mayor radio; que las pendientes --- sean lo menor posibles y aplicables en tramos de gran longitud que el subir o bajar intermedio, deba limitarse a lo indispensable entre dos puntos obligados cualesquiera, que sea el desnivel entre las terminales; que la suma de las deflexiones del trazo, deba reducirse al mínimo, las curvas espirales deben -- servir para la transición del riel sobre-elevado exterior a la curva, sin provocar DESCONFORT; las parábolas de enlace de las pendientes deben permitir esfuerzos tolerables a los trenes, -- además de buena visibilidad, etc..

La velocidad, es el resultado del esfuerzo de tracción que resulta factible al motor del convoy y la posibilidad de aprovechar parcialmente la gravedad terrestre para acelerar los trenes; hasta aquí las recomendaciones del Ing. M. Tognó en lo -- que se refiere a las especificaciones para el diseño geométrico de las vías para ferrocarril; haciendo un estudio más a fondo del proyecto del trazo de la Línea 4 podemos ver que bastan

te de lo que en México tenemos como experiencia en los ferrocarriles y específicamente de SAHOP no está lejos de la tecnología que se aplicó en el Metro y que se supone francesa; al menos así lo deja sentir toda la obra Civil, no así la de la fabricación de máquinas y operación de las mismas .

GRADO DE CURVATURA

Se llama Grado de Curvatura al ángulo central que subtende un arco de longitud unitaria; cuando el radio es muy grande la longitud de una cuerda de 20m se confunde con el arco de igual medida; por lo que para efectos prácticos se definirá al Grado de Curvatura como el ángulo que subtende una cuerda unitaria C , que puede ser que el mismo grado lo indique, por ejemplo SAHOP hace las recomendaciones siguientes: para los grados de curvatura comprendidos entre 10° y 20° se usen cuerdas de 10m. y para las que están comprendidas entre 20° y 40° de 5m.

Para calcular el Grado de Curvatura en cualquier proyecto se pueden emplear dos procedimientos, que son el Inglés o el Americano. El primero consiste en adoptar un radio determinado, cuyo valor sea un número redondo en metros, después de lo cual se calcula el Grado en función del radio y de la cuerda; y el segundo en elegir un grado de curva de minutos enteros, de preferencia pares, y en determinar el radio en función de este Grado y de la cuerda. Todo esto suponiendo que tenemos la deflexión de la curva (Δ).

En la elección de los grados de curvatura si entran las especificaciones de los franceses dándonos razón del porque se usan las Curvas CIGOTOIDES.

Los Grados máximos de Curvatura usados en el proyecto del Eje de la línea fueron como ilustra el plano: Proyecto General -- del Eje de Trazo de la Línea No. 4 Elevada del Ferrocarril -- Metropolitano. Ahí en el plano podemos observar que los ---- radios son muy grandes con el fin de suavizar las curvas, --- igualmente podemos ver que se usaron tres tipos de curvas ---- (circular, espiral y clotoide siendo esta última una variedad de la espiral), estas se usaron según la conveniencia de la sobreelevación, la velocidad y la comodidad de los pasajeros, y aquí exponemos la razón de los franceses para el uso de la Curva Clotoide:

El término Clotoide viene del Griego KLOTHO, que significa -- Hiladera.

EL principal uso de la Clotoide había sido en las carreteras en tanto que en las vías de ferrocarril se usaba más la curva Espiral, pero en Francia que tienen bastante experiencia en -- cuanto a transporte urbano mediante el ferrocarril Metropolitano, dicen que un Convoy no puede efectuar sin una cierta -- transición, el cambio de dirección necesario para recorrer un arco de círculo. Si no existen o son insuficientes los arcos de transición, el conductor se ve obligado a disminuir la velocidad lo que puede llevarle a cortar la curva.

La única manera de conseguir una marcha regular y cómoda se -- realiza empleando curvas de transición adecuadas, requisito -- especial y bien cumplido por la Clotoide gracias al crecimiento lineal de sus curvaturas. Pues en un cambio de dirección -- permaneciendo constante la velocidad y con presión uniformemente en la dirección de la máquina, el camino ocupado por el

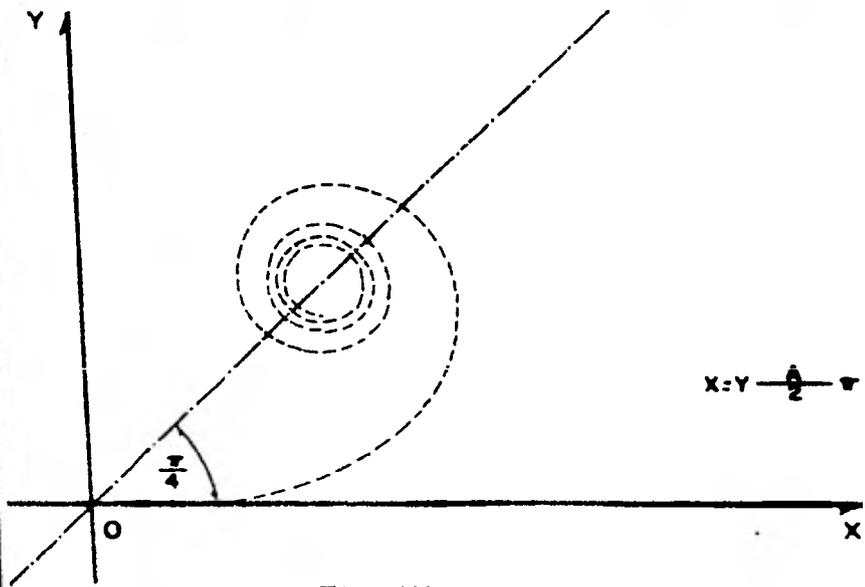


Fig. III.1.1

LA CURVA CLOTOIDE

Representación gráfica de la Curva Clotoide.

tamaño de un carro del convoy corresponde exactamente a un -- arco de Clotoide. En consecuencia los arcos de Clotoide representan la transición más adecuada entre dos elementos de -- trazo, independientemente de que se trate de unir recta con -- círculo, dos rectas de direcciones distintas o dos círculos -- de distinto radio. Igualmente dicen los franceses que no deben subestimarse los efectos psicológicos sobre la marcha --- tratándose del Metro subterráneo, resultante de las condiciones perspectivas. Por ejemplo la unión de una recta con un -- círculo, sin arco de transición aparece como un codo, más o -- menos marcado según la magnitud del radio del círculo. Pero un codo detiene la vista en su marcha hacia adelante y obliga al conductor a disminuir la velocidad ante la aparente dificultad. Por el contrario el empleo de la Curva Clotoide como arco de transición, ofrece a la vista un camino perfectamente regular. Por otra parte la Clotoide permite ceñirse mejor al terreno, especialmente si es movido.

La Clotoide permite un trazo de bondad extraordinaria, cuya flexibilidad es, con mucho superior a la que proporcionan los arcos circulares. También es pertinente dicen hacer notar -- que el paso de una recta a un Arco de Círculo debe estar garantizado el "paulatino" aumento de la curvatura, ya que en -- otro caso la súbita aparición de la fuerza centrífuga es proporcional a la curvatura, al crecer esta linealmente en la -- Clotoide, queda igualmente asegurado el aumento lineal de dicha fuerza.

Como mencionamos antes en el trazo aparecen curvas Circulares Espirales y Clotoideas.

PI = Punto de intersección de la prolongación de las tangentes

PC = Punto donde comienza la curva circular simple.

PT = Punto donde termina la curva circular simple.

PST= Punto sobre tangente.

PSSF=Punto sobre subtangente.

PSC= Punto sobre curva.

O = Centro de la curva circular.

Δ = Angulo de deflexión de las tangentes.

Δ^c = Angulo de deflexión de la curva circular.

G = Angulo de deflexión a un PSC.

ϕ = Angulo de una cuerda cualquiera.

Gc = Grado de curvatura de la curva circular.

Rc = Radio de la curva circular.

St = Subtangente.

E = Externa.

M = Ordenada Media.

C = Cuerda

CL = Cuerda Larga

L = Longitud de un arco.

Lc = Longitud de la curva circular.

El cálculo de los elementos antes anotados se obtiene como sigue:

Primeramente según las necesidades del proyecto se escoge el radio o el grado de curvatura.

El Δ se mide en el dibujo o es dato de campo.

Se calcula la St de la figura III.1.2 como se ve en el triángulo rectángulo O-PC-PI, con $\frac{\Delta}{2} = \frac{St}{Rc}$

$$\tan \frac{\Delta}{2} = \frac{St}{Rc}$$

$$St = Rc \tan \frac{\Delta}{2} \dots \dots \dots (1)$$

Si se escogió el Gc el $Rc = \frac{1720}{Gc}$

$$G_c = 2 \text{ Arc Sen } C/2R_c \dots\dots\dots(2)$$

Si se escogió el G_c se puede utilizar la proporción siguiente:

$$G_c/20 = 360^\circ / (2\pi \cdot R_c) \text{ esto implica } G_c = 1\,145.915598/R_c \dots(3)$$

La longitud de la curva se obtiene mediante la relación:

$$L_c / (2\pi \cdot R_c) = \Delta_c / 360^\circ, L_c = 0.017453292 R_c \Delta_c, \text{ pero tomando}$$

$$\text{en cuenta la Ec. (3) } L_c = 0.017453292 (1\,145.915598/G_c) \Delta_c$$

$$20 \Delta_c / G_c = L_c, \text{ por lo tanto:}$$

$$L_c = \Delta_c / (G_c \times 20) \text{ donde } 20 \text{ es la Cuerda Unitaria } \dots\dots\dots(4)$$

Para obtener la CL hacemos $\text{Sen}(\Delta_c / 2) = (CL/2)/R_c$, esto es:

$$CL = 2R_c \text{ Sen}(\Delta_c / 2) \dots\dots\dots(5)$$

Para obtener la E hacemos $\text{cos}(\Delta_c / 2) = R_c / (R_c + E)$ esto es,

$$R_c + E = R_c \text{ Sec}(\Delta_c / 2) \text{ y esto implica:}$$

$$E = R_c(1 - \text{Sec } \Delta_c / 2) \dots\dots\dots(6)$$

Para obtener la M de la misma fig. III.1.2., se hace:

$$\text{cos}(\Delta_c / 2) = R_c - M \text{ esto implica } R_c \text{ cos}(\Delta_c / 2) = R_c - M \text{ esto im-}$$

plica otra vez que $M = R_c - R_c \text{ cos}(\Delta_c / 2)$, por lo tanto,

$$M = (1 - \text{cos}(\Delta_c / 2)) R_c \dots\dots\dots(7)$$

Y con todos estos elementos calculados se puede proceder al cálculo de cualquier curva ya sea circular simple o compuesta.

La deflexión por metro el Maestro Miguel Montes de Oca la calcula con la fórmula $d/m = (\Delta_c / 2) / L_c$ esto implica que

$$d/m = (\Delta_c / 2) L_c \dots\dots\dots(8)$$

esta relación es muy sencilla de deducir.

Y con estas fórmulas podemos calcular todos los elementos de la curva circular simple.

Existen diferentes variedades de curvas simples, como son las Curvas Compuestas, que no son otra cosa que curvas formadas -- por varios tramos de curvas simples, de radios diferentes; no

entramos en mayor detalle de éstas por no figurar en el proyecto que estamos tratando. Ver Figs. III.1.3.

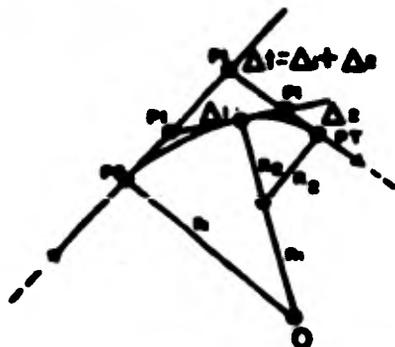


FIGURA III.1.5A

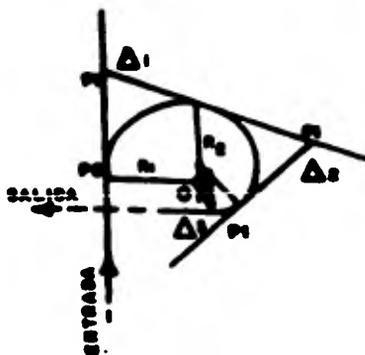


FIGURA III.1.5B

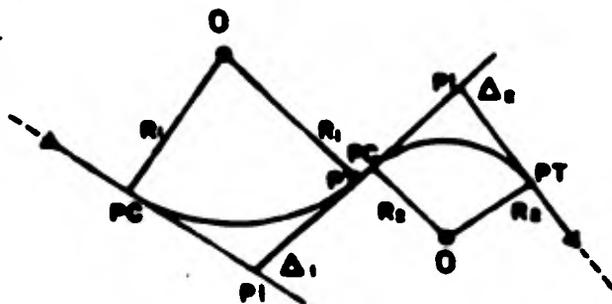


FIGURA III.1.5C

FIGURA III.1.3

También existen las Curvas Circulares Simples en "S" tampoco - hablaré de éstas por no usarse en el trazo de las vías y además ser muy fáciles. Siendo solamente una curva a continuación de la otra pero invertida, formando como su nombre lo dice una ese; las curvas pueden ser del mismo radio o de diferente radio como se muestra en la fig. III.1.3c.

CURVAS ESPIRALES O DE TRANSICION

Se define como Curva de Transición aquella que une una tangente con una curva circular, teniendo como característica principal, que en su longitud se efectúa, de manera continua, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular.

Existen tres casos de curvas espirales en general, a saber:

- a) Curva Simple con Espiral Asimétrica, la cual no la vamos a ver por no aparecer en el trazo.
- b) Curvas Espirales con Curvas Compuestas, que tampoco vamos a ver por no aparecer en el presente proyecto.
- c) Curvas Espirales Simétricas, las cuales si vamos a ver con detalle por aparecer éstas en el diseño de la Línea 4; Estas Curvas Simétricas tienen como entrada una Curva Espiral de una longitud igual a la de la Curva Espiral de salida, o sea, están compuestas de un espiral de entrada, una Curva Circular y otra Curva Espiral de salida (igual a la de entrada), como se puede apreciar en la fig. III.1.4.

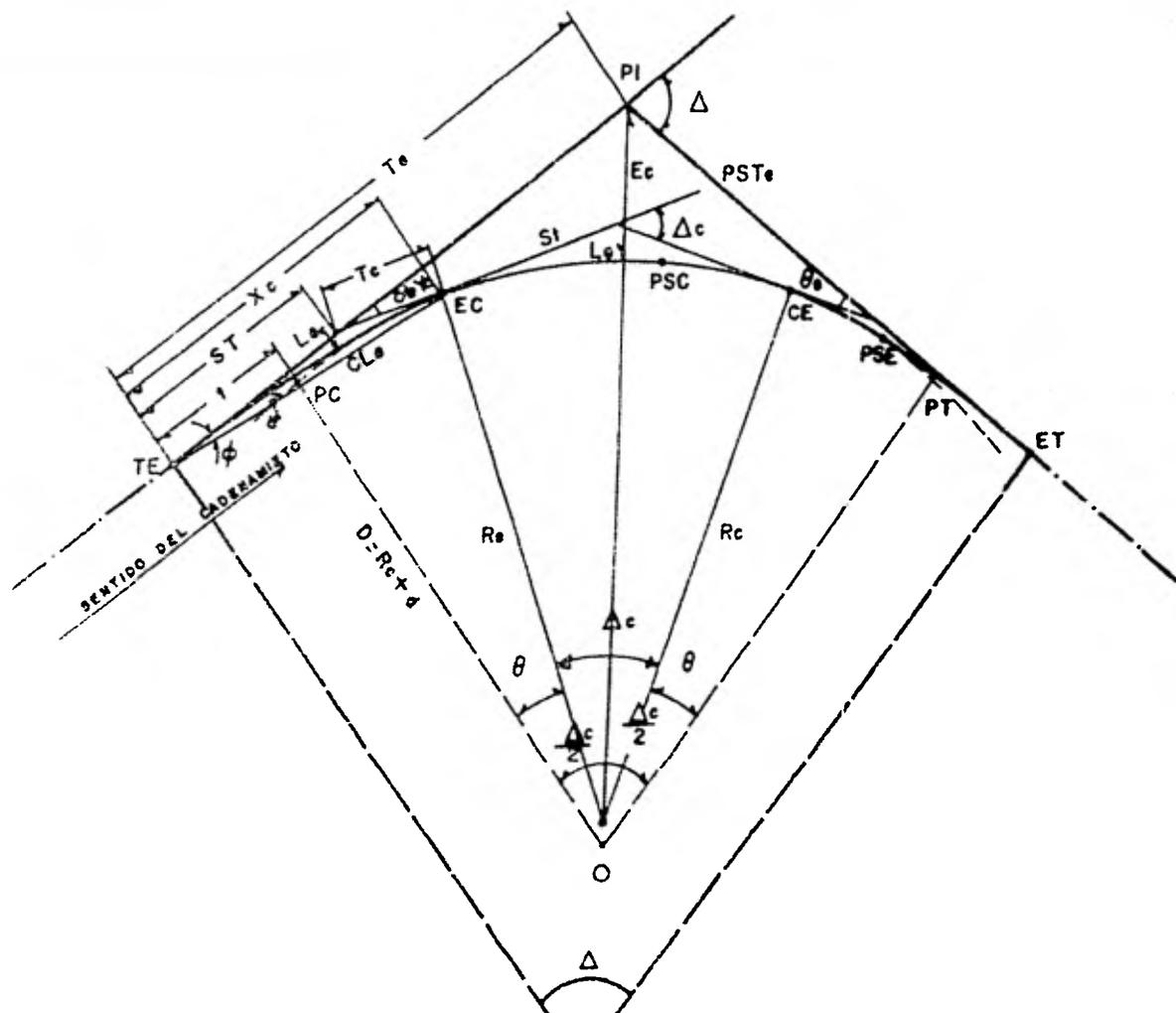


FIGURA III.1.4 Curva Espiral Simétrica

- PI = Punto de Intersección de las tangentes.
 TE = Punto donde termina y empieza la espiral.
 EC = Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular.
 CE = Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral.
 ET = Punto donde termina la espiral y empieza la tangente.
 PSC = Punto sobre curva.
 PSE = Punto sobre espiral.
 PS Te = Punto sobre la tangente.
 Δ = Angulo de deflexión de las tangentes.
 Δc = Angulo central de la curva circular.
 θe = Deflexión de la espiral.
 ϕ = Angulo de la cuerda larga de la espiral.
 Te = Subtangente.
 Xc, Yc = Coordenadas del EC y del CE.
 t y d = Coordenadas del PC o del PT, también llamando a d desalojamiento que provoca la curva circular respecto a la espiral.
 ST = Tangente Larga.
 TC = Tangente corta.
 CLe = Cuerda larga de la espiral.
 Ec = Externa.
 Rc = Radio de la curva circular.
 Le = Longitud de la espiral de entrada, o salida.
 Lc = Longitud de la curva circular.
 D = $R_c + d$

Todas las fórmulas dadas a continuación nos sirven para resolver o calcular cada uno de los elementos de la Curva Espiral y las enumeramos para un mejor manejo de las mismas.

La fórmula (1) y (2), nos sirven para calcular cada uno de los puntos del desarrollo de la Curva Espiral o sea, sus coordenadas:

$$X_c = L(1 - \theta_R^2 / 10 + \theta_R^4 / 216 + \dots) \dots\dots\dots(1)$$

$$Y_c = L(\theta_R / 3 + \theta_R^3 / 42 + \theta_R^5 / 1320 + \dots) \dots\dots\dots(2)$$

En las que X_c y Y_c son las coordenadas.

L = Una longitud cualquiera de la curva espiral.

θ_R = Al ángulo de deflexión de la espiral (en radianes) , se calcula como $\theta^0 = (\theta_e / L_e) (L)$

θ^0 = un ángulo cualquiera del espiral

θ_e = al ángulo de deflexión de la espiral

L_e = longitud de la curva espiral

L = una longitud cualquiera de arco

Posteriormente convertimos θ^0 a radianes:

$$(\pi / 180^\circ) = (\theta_R / \theta^0), \text{ esto implica que } \theta_R = (\pi \theta^0) / 180^\circ \text{ siendo}$$

θ_R lo que entra en las fórmulas (1) y (2) para obtener las coordenadas.

$$\theta_e = (G_c L_e) / 40 \dots\dots\dots(3)$$

Siendo G_c = al grado de curvatura de la curva circular

L_e = long. de la espiral

θ_e = ángulo de deflexión de la espiral

$$L_e = (40 \theta_e) / G_c \dots\dots\dots(4)$$

Donde L_e = a la long. de la espiral.

$$d = Y_c - R_c (1 - \cos \theta_e) \dots\dots\dots(5)$$

Siendo d el desalojamiento que provoca la curva circular

respecto de la espiral como se puede apreciar en la fig.

III.1.4.

$$t = R_c - R_o \operatorname{Sen} \delta \dots \dots \dots (6)$$

siendo t la distancia del PCE al punto en el que se origina el desalogramiento (también llamada coordenada)

$$D = R_c + d \dots \dots \dots (7)$$

Siendo D la suma obvia del radio y el desalogramiento.

$$ST = D \tan(\Delta/2) = D \tan(\Sigma/2) \dots \dots \dots (8)$$

ST es la subtangente o tangente corta $\Delta = \Sigma$ es el ángulo total de deflexión que es igual $\Delta_c = \Delta - 2\theta_c$.

$$T_c = ST + t \dots \dots \dots (9)$$

donde $T_c = a$ la tangente larga o total.

y con todos estos elementos podemos calcular ya nuestra curva. Todas las fórmulas anteriores se encuentran deducidas en diferentes textos, así como en los manuales de curvas espirales de SAHOP y Ferrocarriles Nacionales de México.

LA CLOTOIDE

El diseño del trazo de una vía ferrea, está constituido como mencionamos antes, por una sucesión de tramos rectos enlazados entre sí por arcos de círculos tangentes a éstos. Para lograr una mejor transición en estos casos, se emplean curvas conocidas como curvas de enlace con las cuales se cumplen ciertos requerimientos, dentro de los que podemos mencionar:

Limitar los efectos de la aceleración centrífuga producida por el paso de los carros de un tramo tangente a un tramo curvo.

Esta aceleración está en función de la velocidad y la masa de los carros al cambiar de dirección.

Por medio de la curva de enlace se puede producir una sobreelevación paulatina de las vías lo cual permite que la aceleración quede dentro de los límites aceptables logrando con esto, un mejor confort para los pasajeros.

La curva de enlace escogida para satisfacer las necesidades planteadas, ha sido la Clotoide, debido a sus características geométricas, ya que una de sus cualidades es un mayor desarrollo para lograr una sobreelevación dada, la cual debe estar en función del radio de curvatura que se va a emplear, considerando esto se tienen que:

$$L = \text{constante} \cdot k \dots\dots\dots(1)$$

siendo $L = a$ la longitud del arco; $k =$ curvatura.

$$\text{Estando } k \text{ definida por la relación } k = 1/R \text{ o } k = d\tau/dL \dots(2)$$

Siendo $R = a$ radio de la curva

$\tau = a$ ángulo de la tangente

Si se substituye la ecuación (2) en la ec. (1).

$$L = (\text{const.}) (1/R) \text{ ó } RL = \text{constante} \dots\dots\dots(3)$$

Esta misma expresión se puede dar por:

$$RL = A^2 \dots\dots\dots(4)$$

Que es la ecuación intrínseca de la Clotoide.

Si substituímos nuevamente la Ec. (2) en la Ec. (1).

$$LdL = A^2 d\tau \dots\dots\dots(5)$$

que es la ec. diferencial de la Clotoide.

La integración de la ec. (5) nos da la longitud del arco de la Clotoide en función del ángulo, o sea

$$L^2/2 = A^2 \tau \text{ esto implica } L = A \sqrt{2\tau} \dots\dots\dots(6)$$

De la fig. III.1.5. obtenemos la ecuación siguientes:

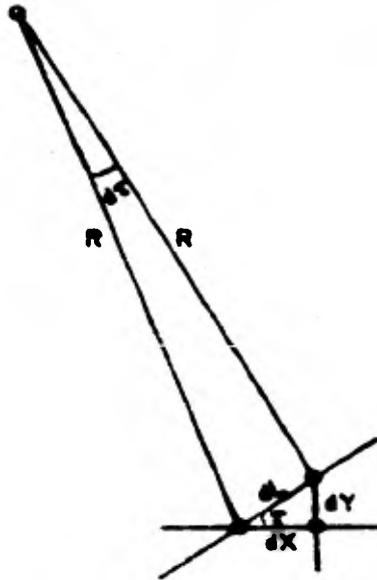


FIGURA III.1.5

$$dx = \cos \tau dL \text{ y } dy = \text{sen } \tau dL \dots\dots\dots(7)$$

De la expresión (5) y (6) resulta $dL = A^2 d\tau/L$ y $L = A\sqrt{2\tau}$ obtenemos $dL = A^2 d\tau/\sqrt{2\tau} = Ad\tau/\sqrt{2\tau}$ substituyendo este valor en la ec. (7) resulta:

$$dx = (A/\sqrt{2\tau}) \cos \tau d\tau \text{ y } dy = (A/\sqrt{2\tau}) \text{sen } \tau d\tau \dots(8)$$

Integrando las ec. (8) desde 0° hasta τ , esto es:

$$\int_0^x dx = \frac{A}{\sqrt{2}} \int_0^\tau \frac{\cos \tau d\tau}{\sqrt{\tau}} \text{ y } \int_0^y dy = \frac{A}{\sqrt{2}} \int_0^\tau \frac{\text{sen } \tau d\tau}{\sqrt{2}}$$

Estas ecuaciones son conocidas como la Integral de Fresnel, las cuales pueden ser calculadas desarrollando las series del seno y el coseno:

$$X = A\sqrt{2r} (1 - r^2/10 + r^4/216 + \dots) \dots \dots \dots (9)$$

$$Y = A\sqrt{2r} (r/3 - r^3/42 + r^5/1320 + \dots) \dots \dots \dots (10)$$

Pero sabemos que $A\sqrt{2r} = L$, donde L es una longitud cualquiera que al fin de cuentas es lo que nos interesa en la práctica y sustituimos:

$$X = L (1 - r^2/10 + r^4/216 + \dots) \dots \dots \dots (11)$$

$$Y = L (r/3 - r^3/42 + r^5/1320 + \dots) \dots \dots \dots (12)$$

que son las ecuaciones que nos dan las coordenadas para cualquier longitud L de la curva clotoide. Al mismo tiempo nos podemos dar cuenta de que estas expresiones son las mismas con las que resolvemos las curvas espirales y que podemos comparar las ecuaciones para calcular las coordenadas de las espirales (1) y (2) con las (11) y (12) de la clotoide.

r en las ecuaciones (11) y (12) también se calculan como sigue Sabemos que la deflexión a un punto cualquiera de la clotoide es el angulo comprendido entre la tangente en TC o CT y tangente en un punto cualquiera PST.

de la ecuación (6) $L^2 = A^2 2r$ obtenemos $r = \frac{L^2}{2A^2} \dots \dots \dots (13)$

Si hacemos L cualquiera = Lcl de la clotoide donde Lcl = longitud de la clotoide y un r cualquiera = rcl de la clotoide por lo tanto $2A^2 = \left(\frac{Lcl}{rcl}\right)^2$

y substituyendo este valor en la ecuación (13) tendremos que

$$r = \frac{L^2}{\left(\frac{Lcl}{rcl}\right)^2} \implies r = \left(\frac{L}{Lcl}\right)^2 rcl \text{ que entra en las fórmulas... (14)}$$

(11) y (12) después de haberla convertido a radianos puesto -- que nos quedaba τ en grados.

Podemos apreciar que es la misma fórmula que usamos en las espirales, por lo que el maestro Sabro Higashida Miyabara en su Libro Topografía General nos dice que la Clotoide es una variedad de las curvas Espirales.

Con la resolución que daremos de cada una de estas curvas que se usaron en el Metro (Línea 4) quedarán mejor comprendidas - las fórmulas anteriores.

Como ejemplo de curva circular escogemos la curva correspondiente al Tramo Talismán-Bondojito (TB) en el PI=5+020.000 -

DATOS

$$\begin{aligned} \text{PI} &= 5+020.000 \\ \Delta c &= 00^{\circ} 31' 10'' \\ R &= 3\ 000.000 \\ Gc &= 0.381972^{\circ} \\ ST &= 13.599\text{m} \\ Lc &= 27.198\text{m} \end{aligned}$$

Estos son los datos que el proyecto nos proporciona, pero para la aplicación de los mismos, nosotros como supervisores de bemos comprobar que sean correctos.

Y procedemos con los datos siguientes el delta (Δc) y el R de proyecto.

Empezamos por calcular el grado:

$$Gc = 2 \text{ Arc Sen } \frac{C}{2R} ; \text{ Cuerda Unitaria } C = 20.000 \text{ m}$$

$$Gc = 2 \text{ Arc Sen } \frac{10}{3\ 000} = 0.3819724^{\circ}$$

por lo tanto $Gc = 0.3819724^{\circ}$ comprobamos que esta bien y proseguimos con nuestro cálculo.

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2} = 3\ 000.000 \tan (0.259722222) = 13.5991167\text{m}$$

por lo tanto $ST = 13.599\text{m}$ y avanzamos en nuestro cálculo

$$L_c = \frac{\Delta c}{G_c} \times C = \frac{00^\circ 31' 10''}{0.3819724} \times 20 = 27.19800928m$$

por lo tanto $L_c = 27.198m$ comprobando también que el último de los datos del proyecto está bien, se procede a calcular los elementos que faltan para el trazo de esta curva en el campo.

$$\text{Cálculo del PT} = PC + LC = 5+006.401 + 27.198 = 5+033.599$$

$$PC = 5+006.401$$

$$PT = 5+033.599$$

Conviene ordenar nuestros datos para campo como se muestra en la tabla de cálculo III.1.A.

Y como la comprobación es $(\frac{d}{m}) L_c = \frac{\Delta}{2}$ esto implica que $00^\circ 15' 35'' = 00^\circ 15' 35''$

La curva se puede trazar de diferentes maneras en este caso - también se calcula por deflexiones y coordenadas polares (ángulo y distancia) y por coordenadas rectangulares como se - observa a continuación: esto es, se traza a partir del PC

$X_n = R_c \operatorname{sen} \alpha$	$Y_n = R_c (1 - \cos \alpha)$	$\alpha = \frac{180^\circ L_c}{\pi R_c}$
$X_1 = 3.5989992$	$Y_1 = 0.00213$	$\alpha_1 = 0.06873584$
$X_2 = 8.5989882$	$Y_2 = 0.0123$	$\alpha_2 = 0.16422880$
$X_3 = 13.5989535$	$Y_3 = 0.03081$	$\alpha_3 = 0.25972177$

Ahora a partir del PT se traza la otra mitad de la curva con los datos siguientes:

$X_{1'} = 3.5989992$	$Y_{1'} = 0.00213$	$\alpha_{1'} = 0.06873584$
$X_{2'} = 8.5989882$	$Y_{2'} = 0.01230$	$\alpha_{2'} = 0.16422880$
$X_{3'} = 13.5989535$	$Y_{3'} = 0.03081$	$\alpha_{3'} = 0.25972177$

Observese que L_c es una distancia cualquiera ($L_c = 3.599$)

ESTACION	P. V.	DEFLEX.	Cuerda No.	Long. Cuerda	DATOS Curva	NOTAS
PC: 5+006.401	5+006.401	00°00'00"	0	0.000	e/m=0.00954931 PI=5+020.000 Δ=00°31'10" R=3000.000m Gc=0°38'19.724 BT=13.599 LB=27.198	
	010.	00 02 04	1	3.599		
	015	00 04 56	2	8.599		
	020	00 07 48	3	13.599		
	025	00 10 39	4	18.599		
	030	00 13 31	5	23.599		
PT: 5+033.599	5+033.599	00 15 35	6	27.198		

TABLA de Cálculo III. I. A

Calculada la curva anterior por los dos métodos podemos trazarla de dos maneras para comprobar, debiendo coincidir las dos maneras de trazar con sus respectivos cálculos.

Pero nosotros necesitamos el cálculo también de las curvas espirales, y vamos a calcular una correspondiente al Tramo Talismán-Bondojoito, esta curva es de las espirales simétricas y sus datos son los siguientes:

$$\begin{array}{lll}
 \theta_e = 00^{\circ} 57' 17.75'' & \Delta = 8^{\circ} 45' 40'' \text{ (Der.)} & \theta = 00^{\circ} 57' 17.75'' \\
 X_c = 19.9998 & \Delta_c = 6^{\circ} 51' 04.51'' & X_c = 19.9998 \\
 Y_c = 0.11111 & G_c = 1.909859 & Y_c = 0.11111 \\
 L_e = 20.000 & T_e = 55.965 & L_e = 20.000 \\
 & L_c = 71.746 & \\
 & St = 35.916 & \\
 & R_c = 600.000 &
 \end{array}$$

Comprobamos primeramente todos estos datos para poder ir a trazar la curva al campo y no por un dato equivocado, del proyecto invertir trabajo, que podemos ocupar en otra cosa, o trazar mal distorsionando la obra.

Tomemos como datos buenos el delta (Δ) y el θ_e, Δ_c , y el R_c :

$$\begin{array}{l}
 1.- G_c = 2 \text{ Arc sen } \frac{C}{2R} = 2 \text{ Arc sen } \frac{20}{2(600)} = 1.9099464^{\circ} \\
 1'.- G_c = \frac{1\ 145.915598}{R_c} = \frac{1\ 145.915598}{600.000} = 1.90985933^{\circ}
 \end{array}$$

Como podemos observar en los cálculos anteriores la manera o fórmula que usaron fué la del inciso (1) , ya que en el inciso 1 el resultado se ve afectado por la función seno que es la que nos mete el error.

$$2.- L_e = \frac{e_e}{G_c} \times 40 = \frac{00^\circ 57' 17.75''}{1.90985933} \times 40 = 20.00001864m$$

que es la longitud de la curva espiral.

3.- Para el cálculo de las coordenadas utilizamos las fórmulas dadas por la SAHOP.

$$X_c = \frac{L_e}{100} (100 - 0.00305 e_e^2) = \frac{20}{100} (100 - 0.0029125381) = 19.9994175$$

$$Y_c = \frac{L_e}{100} (0.582 e_e - 0.0000126 e_e^3) = \frac{20}{100} (0.555769583 - 1.0972 \times 10^{-5}) = 0.111151722$$

Por lo tanto: $X_c = 19.9994175$

$$Y_c = 0.111151722$$

3'.- Cálculo de X_c y Y_c por las fórmulas de la Integral.

$X_c = L_e (1 - \frac{e_e^2}{10})$ basta con los dos primeros términos para efectos prácticos

$$e_e^0 = (\frac{L}{L_e})^2 e_e^0 = (\frac{20}{20})^2 e_e = 0.954930536$$

$$\frac{\pi}{180} = \frac{e_{eR}}{0.954930536} \implies e_{eR} = 0.016666682 \text{ con el que entramos a la fórmula}$$

$$X_c = 20 (1 - \frac{(0.016666682)^2}{10}) = 19.99944446$$

comparando con el proyecto vemos que da lo mismo.

$$Y_c = L_e (\frac{e_e}{3} - \frac{e_e^3}{42}) = 20 (\frac{0.016666682}{3} + \frac{(0.016666682)^3}{42})$$

$$Y_c = 0.111243486$$

Por lo tanto $X_c = 19.9994446$

$$Y_c = 0.111169006$$

Con lo cual comprobamos que estos resultados son muy semejantes

a los del proyecto por lo que podemos continuar calculando -- los elementos que restan.

4.- $\Delta c = \Delta - 2\theta e = 6^\circ 51' 04.50''$ Resultado muy parecido al del proyecto.

$$5.- Lc = \frac{\Delta c}{\theta c} \times 20 = \frac{6.8512500010 \times 20}{1.90985933} = 71.74612174m$$

$$6.- ST = Rc \tan \frac{\Delta c}{2} = 600 \times \tan \frac{6.851250001}{2} = 35.9158668m$$

$$7.- Te = ST + t = D \tan \frac{\Delta}{2} + (Xc - Rc \sin \theta e) = (Rc + d) \tan \frac{\Delta}{2} + (Xc - Rc \sin \theta) \text{ donde } d = Yc - Rc (1 - \cos \theta) = 0.027781006 \text{ por lo tanto } D = 600 + 0.027781006 \text{ por lo tanto } D = 600.027781$$

$$ST = 45.964789740$$

$$t = Xc - Rc \sin \theta = 19.99944446 - 9.9935466 = 9.99939786 \text{ por lo tanto } Te = ST + t = 55.9646876$$

$$Te = 55.9646876$$

Observando que este resultado es idéntico al proyecto, con que comprobamos su veracidad y tenemos confianza en el proyecto en la parte que corresponde al cálculo del eje de la vía.

Lo que a continuación sigue es el cálculo de las cuerdas para el trazo de la curva, se pueden tomar cuerdas del tamaño que se quiera todo depende de que claros se necesiten.

Generalmente en Ferrocarriles y Caminos no acostumbra dividir las curvas en 10 partes, en este caso la transición es muy pequeña ($Lc = 70m$), si las necesidades requieren el trazo de esta curva a cada 2m se puede hacer el no a cada 5m es suficiente. Para el cálculo de estas curvas existen también tablas que pro-

porcionen Ferrocarriles y SAHOP o algunos textos extranjeros, estas nos dan cantidades que multiplicadas por el Radio de la curva a veces o por algún parámetro de ésta, nos dan las coordenadas o elementos que la conforman.

Nosotros preferimos el cálculo directo con las fórmulas, ya -- que hoy en día somos afortunados, con ayuda de las minicomputadoras de bolsillo comunmente llamadas calculadoras.

Ver Tabla III.1.8.

$$\text{Para } 5m \quad \theta = \left(-\frac{L}{L_R}\right)^2 \theta_e = \left(-\frac{5}{20}\right)^2 (0.954930555) = 0.059683159$$

$$\theta_R = 0.0010416676$$

$$X_{5m} = 5 \left(1 - \frac{\theta_R^2}{10}\right) = 4.99999946$$

$$Y_{5m} = 5 \left(-\frac{\theta}{3}\right) = 0.0017361126$$

Para 5 + 5 = 10

$$\theta = \left(-\frac{10}{20}\right)^2 \theta_e = 0.238732638 \quad \theta_R = 0.0041666705$$

$$X_{10m} = 10 \left(1 - \frac{\theta_R^2}{10}\right) = 9.99998264$$

$$Y_{10m} = 10 \left(-\frac{\theta}{3}\right) = 0.013888901$$

Para 10 + 5 = 15

$$\theta = \left(-\frac{15}{20}\right)^2 \theta_e = 0.537148437$$

$$\theta_R = 0.0093750037$$

$$X_{15m} = 14.99986816$$

$$Y_{15m} = 0.046375043$$

Para 15 + 5 = 20

$$\theta = 0.954930555$$

$$\theta_R = 0.016666667$$

$$X_{20m} = 10.99944446$$

$$Y_{20m} = 0.111111212$$

Hasta aquí el cálculo de las coordenadas rectangulares y prosigue el cálculo de las coordenadas polares, que nos sirven para trazar la curva y tener una manera más de comprobar nuestro trazo en el campo ya que esto implica el trazo por dos métodos esto es por coordenadas y por deflexiones.

Las coordenadas polares no es otra cosa que dividir la coordenada "Y" entre la coordenada "X" y sacar el arco cuya tangente es esta cantidad; la distancia "S" se obtiene haciendo $S^2 = X^2 + Y^2$ ó sea el teorema de Pitágoras.

Se prescinde de este cálculo por obvio y solamente se pone en la tabla o registro anterior; **Tabla III.1.B.**

Igualmente en el registro se observa que el EC difiere 2 mm -- respecto a la suma de los 5m que le preceden al cadenamiento anterior.

Hasta aquí el cálculo de las coordenadas de la curva Espiral, quedandonos pendiente el cálculo de las coordenadas de la curva circular. Las coordenadas de la circular se pueden obtener -- por varios criterios, pero nosotros las vamos a calcular mediante las fórmulas siguientes:

X_c = Coordenada Rectangular del ec

R_c = Radio de la curva circular.

θ_e = Deflexión de la espiral.

α = El ángulo subtendido por una longitud de arco cualquiera en grados.

d = Al desalojamiento que provoca la curva circular respecto a la Espiral.

$d = Y_c - R_c (1 - \cos\theta_e)$

ESTACION	No.	LONGITUD DEL PISO ARCO EN (m)	COORDENADAS RECTANGULARES		COORDENADAS POLARES	
TE-4+605.168	0	0	5.000	0.002	00°01'22".51	5.000
4+610.168	1	5	5.000	0.002	00°01'22".51	5.000
4+615.168	2	10	10.000	0.014	00°04'48".77	10.000
4+620.168	3	15	15.000	0.047	00°10'46".29	15.000
EC-4+625.168	4	20	20.000	0.111	00°19'05".96	20.000
4+630.168	5	25	25.000	0.215	00°29'36".17	25.000
4+635.168	6	30	29.996	0.361	00°41'22".84	29.996
4+640.168	7	35	34.993	0.549	00°53'53".10	34.997
4+645.168	8	40	39.987	0.778	1°06'50".67	39.995
4+650.168	9	45	44.980	1.046	1°20'06".44	44.992
4+655.168	10	50	49.970	1.361	1°33'34".91	49.989
4+659.168	11	55	54.958	1.715	1°47'12".67	54.985
4+660.039	12	55.873	55.820	1.780	1°49'36".22	55.856

TABLA III. I. B.

Y como $d = 0.027781006$ procedemos al cálculo de las siguientes coordenadas llegando hasta la mitad de la curva circular y la otra mitad serán simétricas, diferenciando solamente la forma, en la que se trazan éstas, no así en el cálculo, ya que estas curvas usadas en el metro son simétricas, siendo la transición de entrada y salida iguales respectivamente.

Para 5m $\alpha_5 = 0.477464829$
 " 10m $\alpha_6 = 0.954929658$
 " 15m $\alpha_7 = 1.432394489$
 " 20m $\alpha_8 = 1.909859319$
 " 25m $\alpha_9 = 2.387324149$
 " 30m $\alpha_{10} = 2.864788978$
 " 35m $\alpha_{11} = 3.342253808$
 " 35.873m $\alpha_{12} = 3.425619171$

$$\alpha = \frac{180 L}{\pi R_c}$$

$$X_5 = X_c - (R_c \text{ sen } \theta_e) + (R_c \text{ sen } (\theta_e + \alpha_5)) = 19.9984 - (600 \text{ sen } 0.954930555^\circ) + (600 \text{ sen } (1.432395384)) = 19.9994446 - 19.9994446 - 9.9995466 + 14.9984472 = 24.9983452$$

por lo tanto $X_5 = 24.998m$

$$Y_5 = d + R_c (1 - \cos (\theta_e + \alpha_5)) = 0.027781006 + 600 (1 - \cos (1.432395384)) = 0.027781006 + 0.187488 = 0.215269006 \text{ por}$$

lo tanto $Y_5 = 0.215269006m$

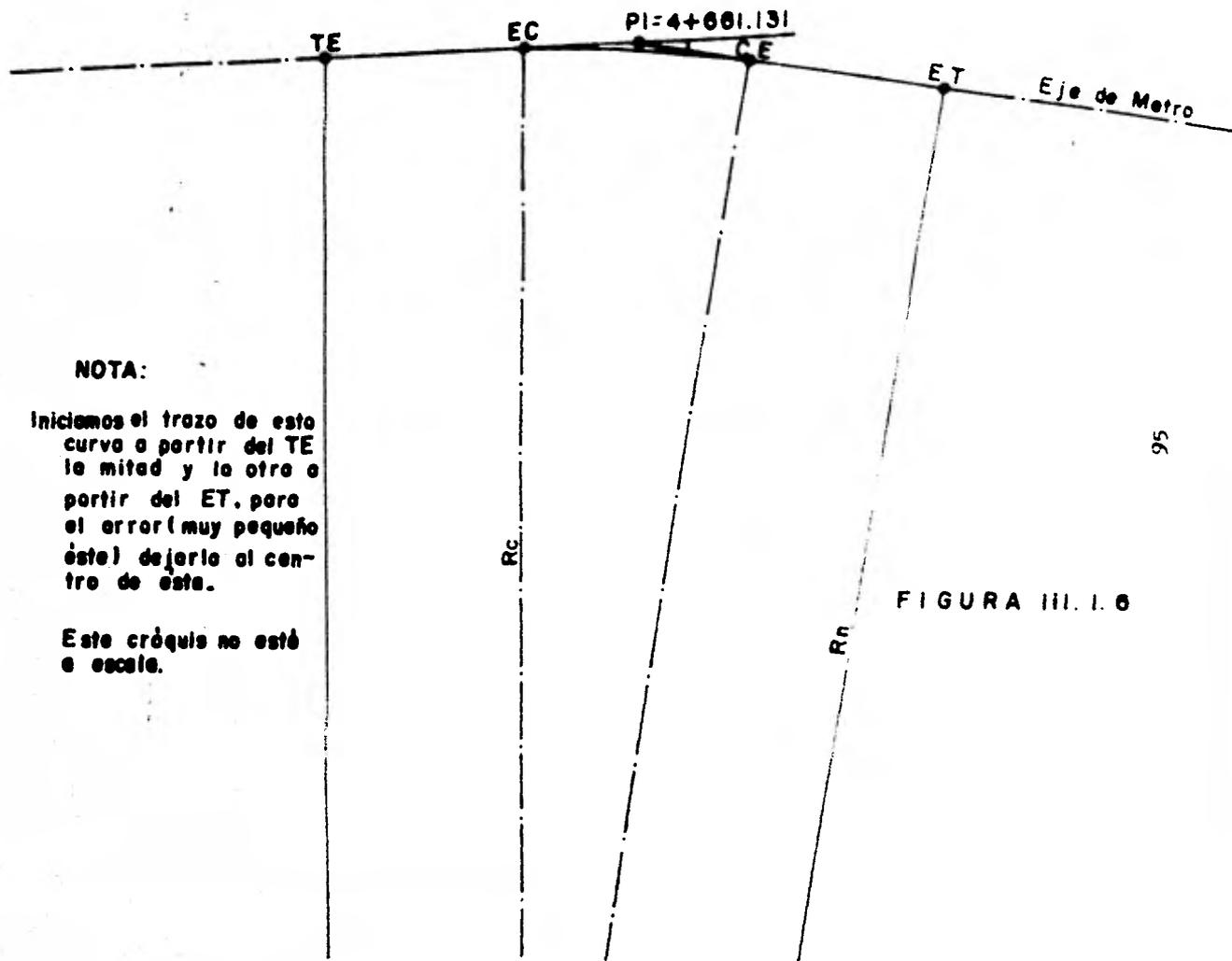
y $\theta_5 = 00^\circ 29' 36.17''$

De igual manera se calculan las demás coordenadas.

$$X_6 = 29.9962036$$

$$Y_6 = 0.361027006$$

$$\theta_6 = 00^\circ 41' 30.84''$$



NOTA:

Iniciamos el trazo de esta curva a partir del TE la mitad y la otra a partir del ET, pero el error (muy pequeño éste) dejarlo al centro de esta.

Este croquis no está a escala.

FIGURA III. I. 6

$$\begin{aligned}X_7 &= 34.9926742 \\Y_7 &= 0.548539006 \\W_7 &= 00^\circ 53' 53.10''\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X_8 &= 39.987409 \\Y_8 &= 0.777625006 \\W_8 &= 1^\circ 06' 50.67''\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X_9 &= 44.980063 \\Y_9 &= 1.048327006 \\W_9 &= 1^\circ 20' 06.44''\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X_{10} &= 49.970284 \\Y_{10} &= 1.360621006 \\W_{10} &= 1^\circ 33' 34.91''\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X_{11} &= 54.9577318 \\Y_{11} &= 1.714495006 \\W_{11} &= 1^\circ 47' 12.67''\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X_{12} &= 55.8282298 \\Y_{12} &= 1.780543006 \\W_{12} &= 1.826728\end{aligned}$$

Estas son las coordenadas para la mitad de la curva igualmente se usan para la otra mitad, modificando unicamente el ende namiento. A continuación calculamos las coordenadas de cada una de las columnas que caen en la curva, ya que nos dan los claros los estructuralistas. Ver figura III. 1. 7.

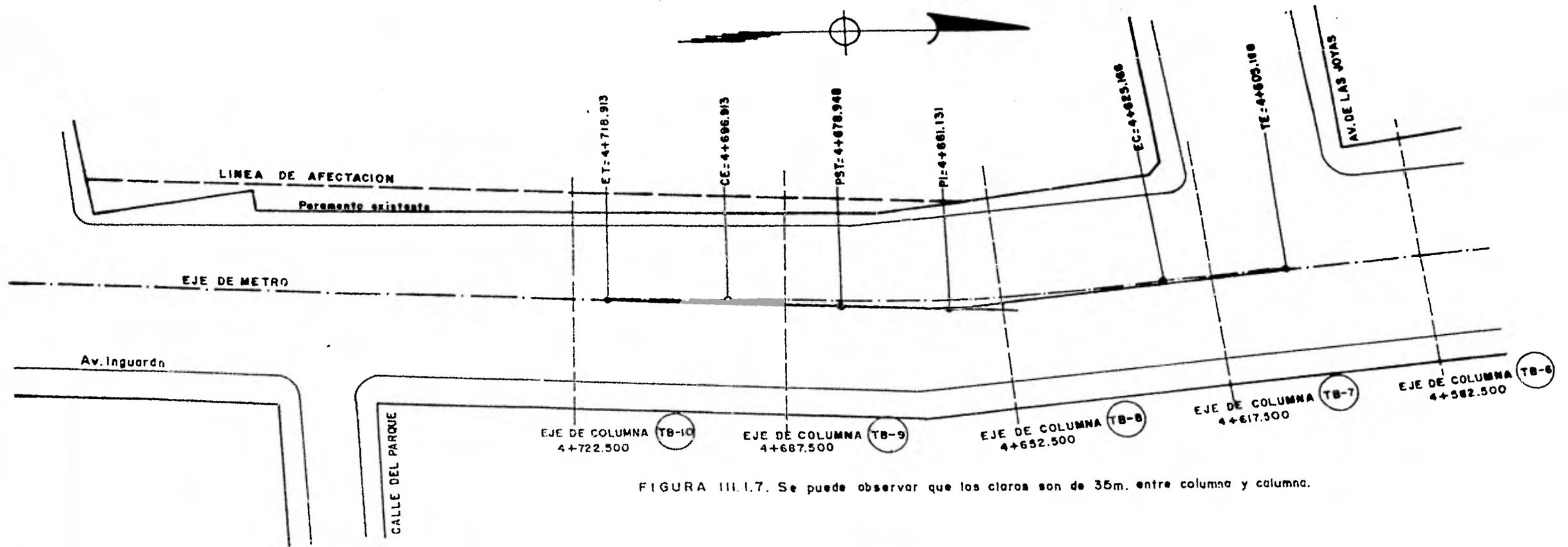


FIGURA III.1.7. Se puede observar que los claros son de 35m. entre columna y columna.

- TE = 4+605.168
 TB-7 = 4+617.500 Cae en la Curva Esoidal.
 TB-8 = 4+652.500 Cae en la Curva Circular CE= 4+625.166
 TB-9 = 4+687.500 Cae en la Curva Circular
 ET = 4+718.913
 TB-10 = 4+722.500

Calculo para las coordenadas del punto central de la columna - TB-7 que nos quedó dentro de la transición:

$$e = \left(\frac{L}{L_0}\right)^2 \theta_e = \left(\frac{12.332}{20}\right)^2 (00^\circ 57' 17.75'') = 0.363060357$$

$$\theta_R = 0.0063365986 \text{ radianes.}$$

$$X_c = L \left(1 - \frac{\theta_R^2}{10}\right) = 12.332 \left(1 - \frac{(00^\circ 57' 17.75'')^2}{10}\right) = 12.33195048$$

$$Y_c = L \left(\frac{\theta_R}{3}\right) = 12.332 \left(\frac{00^\circ 57' 17.75''}{3}\right) = 0.026047644$$

por lo tanto $X_c = 12.332\text{m}$

$$Y_c = 0.026\text{m}$$

$$W = 00^\circ 07' 15.67''$$

$$\mu = 90^\circ 14' 31.34''$$

$$S = 12.332\text{m}$$

Cálculo para el punto central de la columna TB-8

Del EC a la TB-8 hay una distancia = 27.334m que nos da una --

$$e = 2.610204729$$

$$X = X_c - (R_c \text{ sen } \theta_e) + (R_c \text{ sen } (\theta_e + \alpha)) = 19.9994446 - (600 \text{ sen } 0.954930555^\circ) + (600 \text{ sen } (3.565135284))$$

$$X = 19.9994446 - 9.9995466 + 37.0000224$$

$$X = 47.0000204$$

$$Y = d + R_c (1 - \cos (\theta_e + \alpha)) = 0.027781006 + 600 (1 - \cos (3.565135284))$$

$$Y = 0.027781006 + 1.16115 = 1.188931006$$

$$Y = 1.188931006$$

Por lo tanto

$$X = 47.310$$

$$Y = 1.189$$

$$W = 1^\circ 26' 22.78''$$

$$S = 47.32493867$$

Estas dos columnas se deben trazar desde el TE.

A continuación calculamos las coordenadas de la otra columna - que cayó dentro de la curva circular.

Estas coordenadas las vamos a calcular a partir del ET por ser una condición de la proyección de los puntos de la curva sobre la subtangente y trazar posteriormente desde el mencionado ET.

Del CE al centro de la columna TB-9 tenemos 9.413 m \implies --

$$a = 0.898875287$$

$$X = X_c - (R_c \sin \theta_e) + (R_c \sin (\theta_e + \alpha)) = 19.999444 - (600 \sin 0.954930555) + (600 \sin (1.853805842))$$

$$X = 19.9994446 - 9.9995466 + 19.4096226$$

$$X = 29.40952054m$$

$$Y = d + R_c (1 - \cos (\theta_e + \alpha)) = 0.027781006 + 600 (1 - \cos 1.853805842)$$

$$Y = 0.027781006 + 0.314028$$

$$Y = 0.341809006$$

$$X = 29.410$$

$$Y = 0.342$$

$$W = 00^{\circ} 39' 57.18''$$

$$S = 29.412$$

Una vez más recalcamos que esta columna se traza desde el PI. Y hasta aquí el cálculo completo de la curva y las coordenadas de las columnas situadas en la curva que tomamos como ejemplo, de como se calculan las mencionadas curvas Espirales que intervinieron en el diseño de la LINEA 4 DEL METRO ELEVADO.

Cuadro de Construcción de los elementos de las Columnas.

CADENAMIENTOS	Y	X	W ^o	S en "m"
TS-7 = 4+617.500	0.026	12.332	00° 07' 15.67"	12.332
TS-8 = 4+652.500	1.189	47.310	1° 26' 22.78"	47.325
TS-9 = 4+687.500	0.342	29.410	00° 39' 57.18"	29.412

Manera de efectuar el cálculo de una Curva Clotoide según los franceses mediante sus tablas, cuyo título en Alemán y Frances es respectivamente:

"Clothoidentafel"

"Table de Clothoïde".

Para el cálculo se parte de la consideración que la pendiente máxima de enlace para los peraltes no debe ser mayor de 4 mm/m quedando esta consideración definida por la expresión

$$SM \leq \frac{180}{V}, \text{ en la que "V" es la velocidad máxima permitida. Por lo que en caso extremo se tendría } SM = \frac{180}{45} = 4 \text{ mm.}$$

Establecida la condición para el cálculo de la pendiente máxima se calcula la velocidad máxima "V" en función del Radio Nominal (Igual que en las Espirales) por medio de la expresión $V = 5.13\sqrt{Rn}$, el valor obtenido por medio de la fórmula es redondeando a su valor inmediato inferior ejemplo:

$$\text{Para el radio } Rn = 150 \text{ m } 5.13\sqrt{150} = "62.32941188", \text{ por lo que}$$

se deja en 60 km/h, la aplicación de la pasada fórmula es para radios inferiores a los 250m. Para radios mayores o iguales a 250m por razones de orden práctico y de acuerdo a los estudios realizados por la SOFRETU se considera una velocidad máxima de 80 km/h.

Una vez que se tiene conocida la velocidad se calcula el peralte práctico (Ht) por medio de la expresión $Ht = \frac{11.8 V^2}{Rn}$ valor al cual se le restan 30 mm para encontrar el valor del peralte práctico calculado (Hrc) y este se redondea a su valor inmediato superior para conocer el valor del peralte práctico (Hr) que se va a aplicar. Cuando el valor del peralte calculado (Hrc) es mayor de 160 mm se considera un peralte práctico (Hr) de 160 mm, que es el valor máximo del peralte que se puede considerar, por ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{Para } Rn &= 500m \quad V = 80 \text{ km/h} \\ Ht &= \frac{11.8 (80)^2}{500} = 151.04 \text{ m} \\ Hrc &= 151.04 - 30 = 121.04 \text{ m} \\ \text{por lo que } Hr &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

Para velocidades máximas y peraltes prácticos consultar tabla anexa, folio III.1.C. (TABLA DE Velocidades Máximas y Peraltes Prácticos). Establecida la velocidad máxima, se calcula la pendiente máxima de enlace $SM = \frac{180}{V}$; conocido este valor, se calcula la longitud teórica de la clotoide requerida (Ltc) utilizando la fórmula $Ltc = \frac{Hr}{SM}$, establecido el valor de Ltc se calcula el valor de una constante (ϵ) épsilon que servirá para entrar a las tablas de las clotoides unitarias (las mencionadas al principio) definidas al principio del capítulo; para calcular el valor de épsilon se emplea la longitud teórica de la clotoide y

- U = Distancia del punto "A" al Xc.
 H = Distancia del punto "A" al CC.
 S = Cuerda larga (Distancia del TC al CC).
 W = Deflexión al CC.
 F = Distancia normal de la Curva Circular real del CC a la subtangente total.
 St = Subtangente de la Curva Circular Real.

$$A = \sqrt{RL}$$

Todas las fórmulas y razonamientos anteriores para el cálculo de la Clotoide son directamente tomados de los apuntes para el cálculo de Clotoides de la empresa Mexicana Aerofoto actualmente ISTME.

Pero entremos a calcular la curva localizada en el tramo Bon-dojito Consulado y $PI = 5+843.347$

$r = 2^{\circ} 33' 40''$	$\Delta = 6^{\circ} 32' 40.50''$ (IZQ)	$r = 2^{\circ} 33' 40''$
$Lcl = 62.559$	$\Delta c = 1^{\circ} 25' 20.49''$	$Lcl = 62.559$
$Xc = 62.547$	$Tc = 71.300$	$Xc = 62.547$
$Yc = 0.932$	$Lc = 17.372$	$Yc = 0.932$
	$Gc = 1.637573^{\circ}$	
	$St = 8.686$	
	$Rc = 699.767$	
	$Rn = 700.00$	

$$Hr = 160 \text{ mm}$$

$$\text{como } V = 70 \text{ km/h}$$

$$SS = \frac{180}{V} = \frac{180}{70} = 2.571428571 \implies SS = 2.5714$$

$$Ltc = \frac{Hr}{SS} = \frac{160}{2.5714} = 62.2222443 \implies Ltc = 62.2222$$

$$\xi = \frac{Ltc}{Rn} = \frac{62.2222443}{700} = 0.0888888502 \implies \xi = 0.0888888292$$

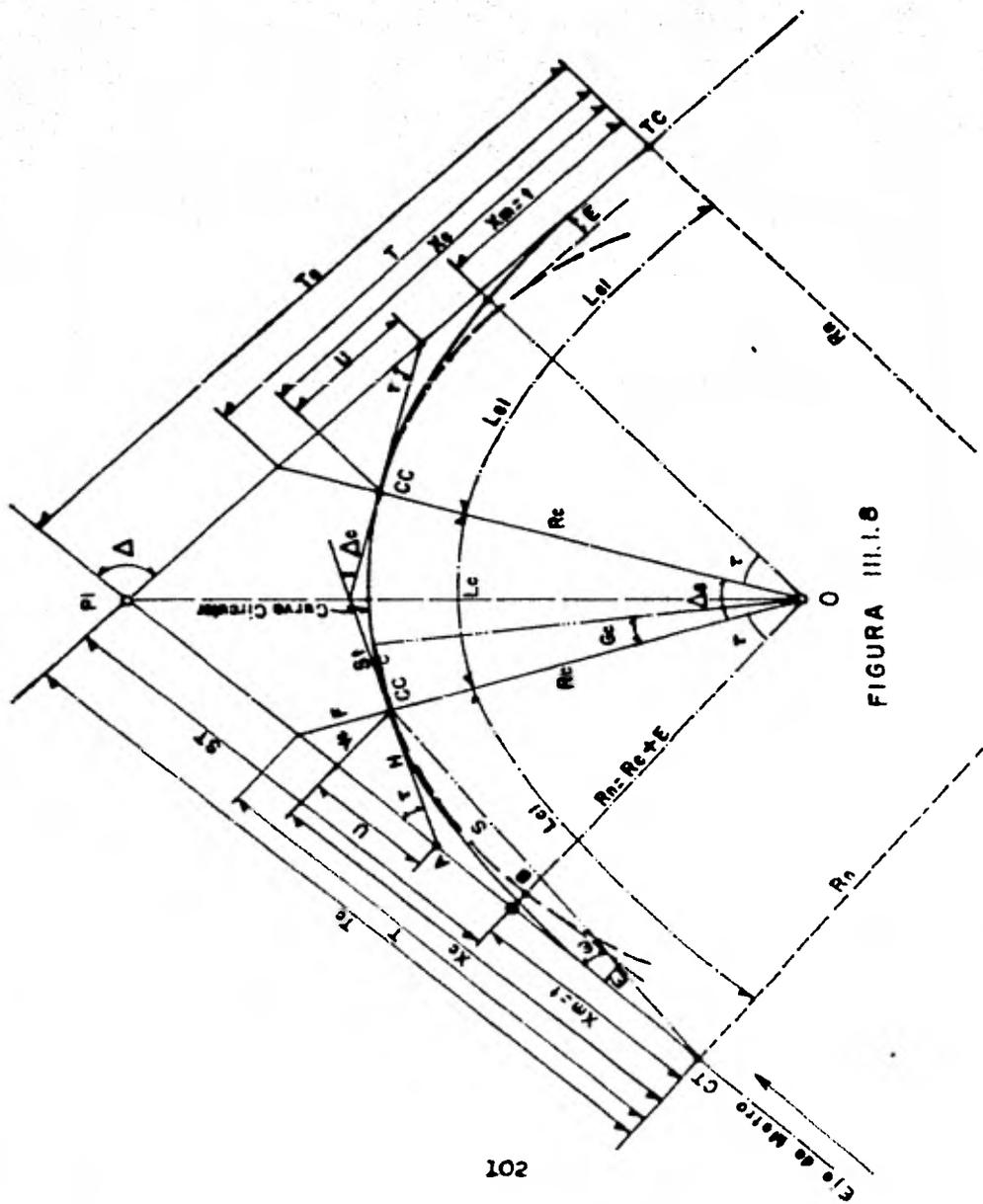


FIGURA III.1.8

y el Radio Nominal, de donde $\xi = \frac{Ltc}{Rn}$, y estableciendo este valor se busca en las tablas, tomando en cuenta que de no encontrarse este valor exactamente se tomará el inmediato superior, localizando el valor en las tablas, queda definido el renglón de donde se tomarán los valores de la Clotoide Unitaria que multiplicadas (las variables) por el parámetro A que se dió al principio, nos dará los valores reales de la Clotoide buscada veamos el dibujo de la CLOTOIDE, (Fig. III.1. 8.) .

SINBOLOGIA

- PI = Punto de intersección de las tangentes.
 Δ = Deflexión en el PI
 TC = Punto de paso de la tangente a la Clotoide.
 CC = Punto de paso de la Clotoide a la Curva Circular.
 CC = Punto de paso de la Curva Circular a la Clotoide.
 CT = Punto de paso de la Clotoide a la Tangente.
 τ = Angulo total de cada Clotoide.
 Δc = Angulo Central de la Curva Circular Real.
 Gc = Grado de la Curva Circular Real.
 Rh = Radio de la Curva Circular Nominal.
 Rc = Radio de la Curva Circular Real.
 Tc = Subtangente total (Distancia del PI al TC)
 T = Abscisa de la subnormal.
 Xc = Abscisa del punto CC.
 Yc = Ordenada del punto CC.
 Xm = Abscisa del punto "B".
 E = Ordenada del punto "B".

que para efectos de entrar en las tablas será $\xi = 0.089$ una vez localizando en la columna de las tablas a la ξ y el valor 0.089 en ese renglón podemos sacar todos los datos, la deflexión de la clotoide y los demás elementos unitarios que multiplicados por A nos darán los elementos para esa curva de $R_n = 700$ m

Estos son:

$$A = \frac{R_n}{r} = \frac{700}{3.344482} = 209.2999753$$

$$r = 2^{\circ} 33' 40''$$

$$r = 3.344482$$

$$P = 0.299$$

$$\lambda = 0.000333$$

$$E = \lambda \cdot R_n = 0.000333 \times 700 = 0.2331 \implies E = 0.2331$$

$$R_c = R_n - E = 700 - 0.2331 = 699.7669 \implies R_c = 699.767$$

$$A = R_c \div r = 699.767 \div 3.344482 = 209.2302784 \implies A = 209.2302784$$

$$Lc1 = P \times A = 0.299 \times 209.2302784 = 62.55985324 = \text{-----}$$

$$\implies Lc1 = 62.559985324$$

$$Xc = X \cdot A = 0.298940 \times 209.2302784 = 62.54729942 = \text{-----}$$

$$\implies Xc = 62.54729942$$

$$Y = Y \cdot A = 0.004455 \times 209.2302784 = 0.93212089 = \text{-----}$$

$$\implies Yc = 0.93212089$$

$$Xm = Xr \cdot A = 0.149490 \times 209.2302784 = 31.27783431 = \text{-----}$$

$$\implies Xm = t = 31.27783431$$

$$S = S \cdot A = 0.298973 \times 209.2302784 = 62.55420402 = \text{-----}$$

$$\implies S = 62.55420402$$

En esta curva se siguió un criterio muy especial ya que la curva espiral tiene una longitud no cerrada, esto es -----
 $Lc1 = 62.559$ y mediante una proporción se buscó una P_0 para -

60m como sigue $0.299/62.547 = \frac{P_1}{60}$, esto da $P_1 = 0.286824308$

y dividiendo esta P_1 entre 10 nos dá un $P_2 = 0.029$ con la que tenemos la decima parte de la espiral de 60m, esto nos dará un error muy pequeño que observaremos en los 2.547 que nos faltarán de la espiral y con el dato $P_2 = 0.029$ entramos a las tablas mencionadas al principio y obtenemos las coordenadas como sigue: (ver Tabla III.1.C).

Las coordenadas "X" mayúscula y "Y" mayúscula se obtienen multiplicando los valores unitarios x minúscula y y minúscula por el valor de A.

Con estos datos ya estamos en condiciones de trazar en el campo nuestra curva de Transición, igualmente se pueden obtener las coordenadas polares, dividiendo las coordenadas "Y" entre la "X" obteniendo el ángulo tangente ($\theta = \text{Arc tan } \frac{Y}{X}$) y la cuerda $S = \sqrt{Y^2 + X^2}$.

Y hasta aquí el criterio de los franceses por medio de sus Tablas, haciendo hincapié que estos resultados iguales se pueden obtener con las fórmulas que usamos para el cálculo de las Curvas Espirales, por lo tanto este cálculo no lo repetimos por obvio y para verificar este criterio vamos a calcular los centros de las columnas que quedaron en la curva que nos ocupa por medio de las fórmulas que usamos en la curva espiral y comprobamos lo anterior.

$$TC = 5+772.047$$

$$3C - 10 = 5+798.500$$

$$3C - 11 = 5+833.500$$

$$3C = 5+834.606$$

VALORES UNITARIOS DE LAS TABLAS

Longitud	P	X	Y	Por	A	X	Y
Para	$P_1=0.029$	0.0290000	0.000004	209.2302784		6.068	0.000 CT
"	$P_2=0.058$	0.0570000	0.000031	"		12.135	0.007
"	$P_3=0.087$	0.0870000	0.000110	"		18.203	0.023
"	$P_4=0.116$	0.1159999	0.000260	"		24.271	0.054
"	$P_5=0.145$	0.1449980	0.000508	"		30.338	0.106
"	$P_6=0.174$	0.1739960	0.000876	"		36.405	0.184
"	$P_7=0.203$	0.2029910	0.001394	"		42.472	0.292
"	$P_8=0.232$	0.2319830	0.002081	"		48.538	0.435
"	$P_9=0.261$	0.2609700	0.002963	"		54.603	0.620
"	$P_{10}=0.290$	0.2899490	0.004064	"		60.666	0.850
"	$P_{11}=0.299$	0.2989400	0.004455	"		62.547	0.932

TABLA III.I.C

$$\begin{aligned} \text{CC} &= 5+851.973 \\ \text{BC} - 12 &= 5+863.500 \\ \text{BC} - 13 &= 5+898.500 \\ \text{CF} &= 5+914.537 \end{aligned}$$

Como se aprecia en la figura III.1.8 podemos ver cuantas columnas estan en la curva:

Las fórmulas son:

$$\begin{aligned} r^0 &= \left(\frac{L}{Lc1}\right)^2 r & r_R &= \frac{r^0 \times \pi}{180} \\ X &= L \left(1 - \frac{r_R^2}{10} + \frac{r_R^4}{216}\right) \end{aligned}$$

$$Y = L \left(-\frac{r_R}{3} - \frac{r_R^3}{42} + \frac{r_R^5}{1320}\right)$$

r = Angulo de Deflexión total de la Espiral.

r_R = Tao en radianes.

r^0 = Tao en grados.

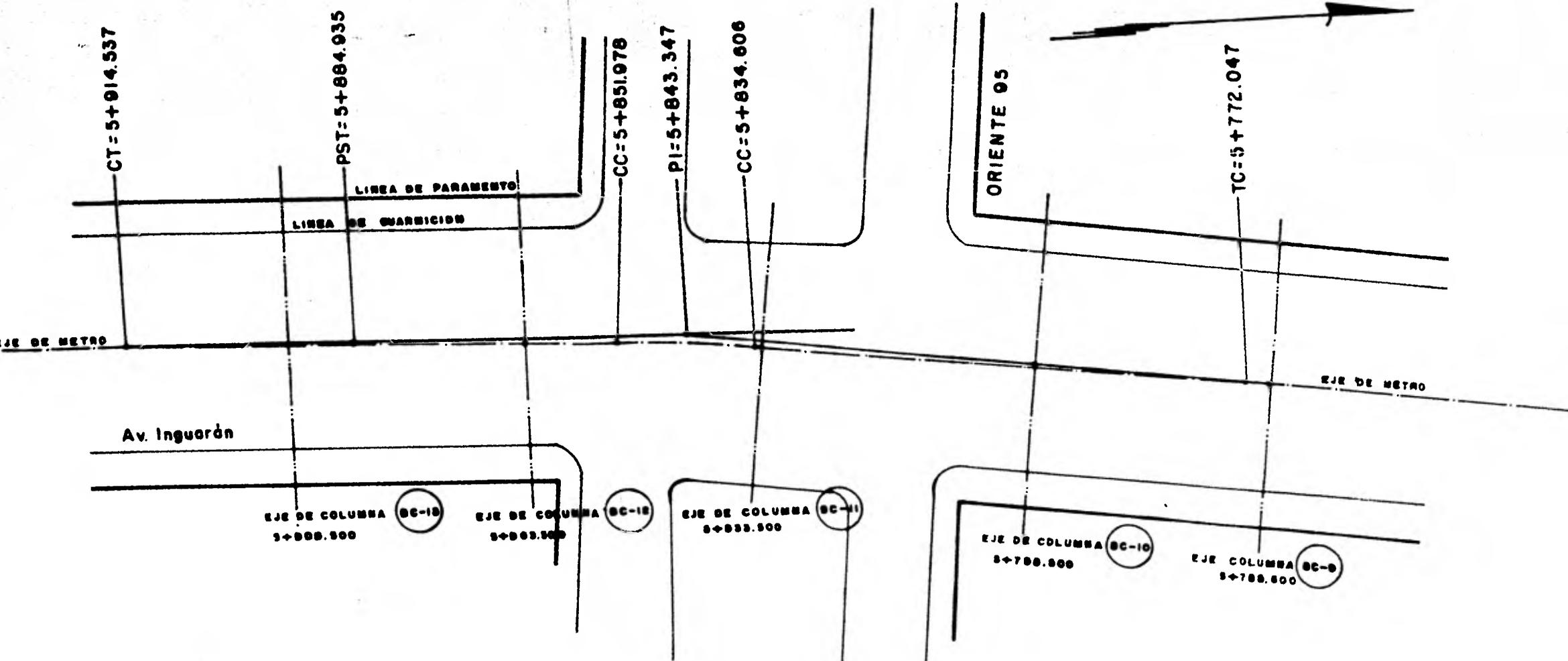
L = Una distancia cualquiera.

En las fórmulas para calcular las coordenadas en "X" usaremos hasta el 2do. término en la "Y" usaremos hasta el 1er. término pues ya que la aproximación en campo es como máximo al milímetro, por lo que al desprestigiar los otros términos para efectos prácticos no nos acarrea error. Sigamos con nuestro cálculo:

La distancia del TC a la BC - 10 es de 26.453m Sobre la Espiral.

La distancia de BC - 10 a la BC - 11 es de 35.000m Sobre la Espiral.

La distancia del CF a la BC - 12 es de 15.037m Sobre la Tran-



ción.

La distancia de BC - 13 a la BC - 12 es de 35.000m Sobre la Espiral.

Para la BC - 10 .

$$r^{\circ} = \left(\frac{L}{r_{cl}}\right)^2 r = \left(\frac{26.453}{62.559}\right)^2 (2^{\circ} 33' 40'') = 0.457929562^{\circ}$$

$$r_n = \frac{r^{\circ} \times \pi}{180^{\circ}} = \frac{(0.457929562) (\pi)}{180^{\circ}} = 0.0079923787 \text{ rad.}$$

$$X = L \left(1 - \frac{r_n^2}{10}\right) = 26.453 \left(1 - \frac{(0.0079923787 \text{ rad})^2}{10}\right) =$$

26.45283104

$$Y = L \left(\frac{r_n}{3}\right) = 26.453 \left(\frac{0.0079923787}{3}\right) = 0.07047413$$

$$W = \text{Arc tan } \frac{Y}{X} = \frac{0.07047413}{26.45283104} = 00^{\circ} 09' 09.52''$$

$$S = Y^2 + X^2 = 26.45292491$$

$$X = 26.453$$

$$Y = 0.071$$

$$W = 00^{\circ} 09' 09.52''$$

$$\mu = 90^{\circ} 23' 34.05''$$

Para BC - 11 .

$$r^{\circ} = \left(\frac{61.453}{62.559}\right)^2 2^{\circ} 33' 40'' = 2.471354247$$

$$r_n = 0.043133268$$

$$X = 61.44156685$$

$$Y = 0.883556239$$

$$W = 00^{\circ} 43' 25.97''$$

$$S = 61.44791946$$

$$\mu = 91^{\circ} 38' 50.91''$$

Coordenadas para la BC - 13 .

$$r^{\circ} = \left(\frac{16.837}{62.559}\right)^2 2^{\circ} 33' 40'' = 0.185514662$$

$$r_n = 0.003237416$$

$$X = 16.83698235$$

$$Y = 0.18171845$$

$$W = 00^{\circ} 03' 42.62''$$

$$S = 16.83699215$$

$$\mu = 90^{\circ} 07' 25.24''$$

Coordenadas para la BC - 12

$$r^{\circ} = \left(\frac{51.037}{62.559} \right)^2 2^{\circ} 33' 40'' = 1.704586718$$

$$r_R = 0.02975065$$

$$X = 51.03248271$$

$$Y = 0.506127972$$

$$W = 00^{\circ} 34' 05.62''$$

$$S = 51.03499246$$

$$\mu = 91^{\circ} 08' 10.90''$$

La cantidad μ° nos sirve para ubicar los ejes radiales de las columnas en curva y se calcula mediante la expresión:

$$\mu = (90 - W) + r^{\circ} \quad \text{donde} \quad r^{\circ} = \left(\frac{L}{LcI} \right)^2 r$$

La expresión matemática $\mu = (90 - W) + r$ es muy fácil de demostrar, aclarando que con esta expresión solamente se calculan las direcciones de los ejes radiales en las curvas espirales y para los ejes radiales en las curvas circulares la ecuación que se usa es diferente.

C A P I T U L O IV

Control Planimétrico y Altimétrico de la Obra.

CONTROL ALTIMETRICO DE LA OBRA

De fundamental importancia es el Control Altimétrico de la obra, pues ya que esta línea es elevada y por intuición podemos decir que los niveles son determinantes y decisivos.

NIVELACION

Nivelar es determinar la diferencia de alturas entre dos puntos de un terreno. Las alturas de estos puntos se toman sobre PLANOS DE COMPARACION diversos, siendo el más común y el que se usa para la obra del Metro es el Nivel del Mar. A estas alturas de los puntos sobre esos planos de comparación, se les llama COTAS o ELEVACIONES cuando son respecto al Nivel del Mar, o ALTURAS y a veces NIVELACIONES.

A veces se toma como punto de referencia el NABE esto es el Nivel de Aguas Máximo Extraordinario, o sea el punto máximo al que suben las aguas de los ríos. Otro plano de comparación que se toma es el SNEM, que es la cota SOBRE EL NIVEL MEDIO DEL MAR, punto que se determina después de hacer muchas observaciones y mediciones entre las Mareas Altas y las Mareas Bajas. Desde estos puntos se corren las nivelaciones tierras-adentro para saber las alturas de las ciudades, estos datos -- nos sirven también para otros estudios.

Además, todos los Aeropuertos u obras importantes deben localizarse mediante sus tres coordenadas, esto es, Latitud, Longitud y Altitud, la primera respecto a los polos a partir del Ecuador, que toma como latitud 0° (cero grados) y sobre las líneas que van de polo a polo llamados Meridianos; la Longitud se mide sobre los Paralelos que pueden o no ser Líneas

Máximas, y que se toman como punto de partida el Meridiano de Greenwich; y finalmente la Altitud que es como ya mencionamos antes la comparación del plano del Nivel del Mar y el punto deseado.

La obra del Metro Altimétricamente está referida al Nivel Medio de las aguas del mar, más específicamente a los Bancos -- Profundos ubicados en la Glorieta Peralvillo y al de Atzacualco; se dice que son Profundos por considerarseles relativamente fijos, esto es que se encuentran sobre capas resistentes o macizas rocosas bastante profundas, por lo que se consideran muy confiables para las diversas obras en la zona Metropolitana.

LOCALIZACION DE LA ZONA METROPOLITANA

La zona metropolitana como ya mencionamos antes en su mayor parte está sentada sobre un lago desecado, y como consecuencia nuestro subsuelo está constituido por un 80% de agua y 20% de tierra o material sólido. Esto ocasiona que al extraer, agua del subsuelo por diferentes motivos para surtirnos de agua potable, por obras, etc. el terreno experimenta constantes hundimientos y como consecuencia inestabilidad en los Bancos de Nivel, lo que hace buscar lugares como los antes mencionados -- para establecerlos, o bien construirlos mediante pilotes incados en la tierra hasta que la punta de estos descansa sobre capas resistentes (capas rocosas) y las cabezas de estos pilotes nos sirvan como bancos de Nivel Profundos y confiables.

A partir de los Bancos Profundos Atzacualco (BNAT₂ = 2245.008 SNT) y el Banco Profundo de la Glorieta Peralvillo (BN GP = 2232.063) se corrieron nivelaciones de precisión a lo largo

de toda la Línea 4 del Metro y se ubicaron una serie de Bancos de Nivel Auxiliares. Estos Bancos Auxiliares se pusieron generalmente sobre las calles transversales o adyacentes a las de la obra y a una distancia promedio de 90m, para que no fueran a ser tocados por las maniobras que se ejecutan en la obra. Estos bancos se establecieron sobre clavos-bala en las aceras o elementos prominentes, tornillos de la base de los arbotantes, postes de fierro y concreto de la luz, o labrados con cincel sobre las aceras o en lugares estratégicos, etc. .

El método de nivelación que se usó indiscutiblemente que tenía que ser el de precisión, esto es con lectura de tres hilos y doble altura de aparato.

NIVELACION DIRECTA Y NIVELACION INDIRECTA

Explicuemos brevemente cuantos tipos de Nivelación hay: a saber son Dos, la llamada DIRECTA o TOPOGRAFICA y la Indirecta que a su vez se subdivide en Nivelación Barométrica y Nivelación Trigonométrica. La Nivelación Directa su subdivide también en dos métodos, el de Nivelación Diferencial y el de Nivelación de Perfil.

En el Método de Nivelación Directa, se pueden efectuar las nivelaciones ya sea de las sencillas (que son rápidas y económicas, aunque no muy de confiar pues mucho influye la experiencia del Ing. Nivelador), y las de precisión que son de más confianza por ser comprobables.

La Nivelación Diferencial tiene por objeto la determinación del desnivel entre dos puntos.

La Nivelación de Perfil es determinar el desarrollo de la proyección vertical de la intersección del plano vertical que contiene el trazo de una línea con la superficie del terreno que ésta atraviesa.

INSTRUMENTOS DE NIVELACION

Existe una gran variedad de Niveles para el trabajo de nivelación, así como una gran cantidad de Miras o Estadales que también se utilizan en las nivelaciones.

Entre la diversidad de EQUIALTIMETROS podemos mencionar los siguientes: el equialtimétrico "Y", el Dumpy, el Reversible, el Basculante y el Automático.

A continuación doy una explicación superficial de los niveles automáticos por ser los que aquí se usaron especialmente los de la casa Zeiss, que han logrado una innovación fundamental con el instrumento denominado Zeiss Opton Ni 2. Es este un nivel que utiliza un péndulo invertido en lugar de un nivel de líquido para obtener la dirección de la gravedad. El péndulo está soportado por cuatro hilos y hace funcionar un prisma de espejos que recoge efectivamente la imagen de los puntos a la del punto analítico, sobre la cruz filar cuando se inclina el anteojo. La visual se conserva siempre horizontal por medio del péndulo.

En la figura IV.1.1. se presenta este instrumento. La figura IV.1.2. indica su funcionamiento en forma esquemática. La parte superior representa el anteojo horizontal. Cuando se inclina el anteojo hacia atrás, como se representa en la parte inferior de la figura, el péndulo se mueve hasta que su centro de gravedad queda sobre la intersección de -

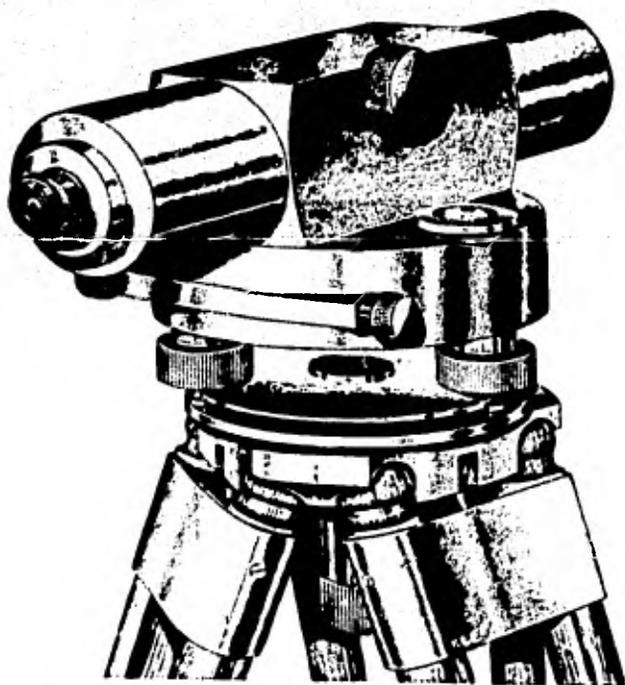


FIGURA IV. 1. 1.
Un nivel automático, Zeiss N1 2.

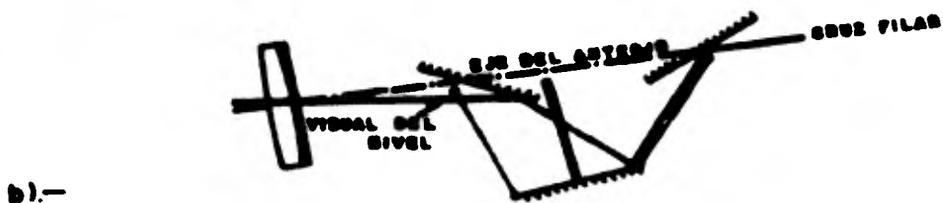
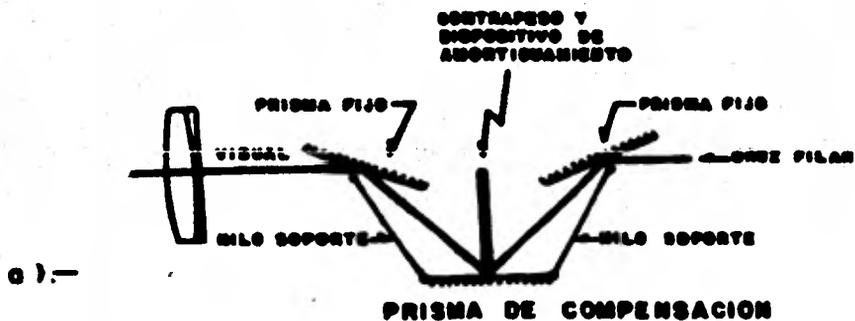


FIGURA IV.1.2

Se puede apreciar en la figure que cuando se inclina el telescopio, la visual continua horizontal.

las líneas correspondientes a los hilos soportes. Esto da lugar al movimiento de espejos del péndulo de tal forma que la visual del nivel se lleva a la cruz filar. El instrumento es, pues, de manejo muy fácil rápido y seguro.

Ver Fig. IV.1.1. y Fig. IV.1.2.

Las miras más usadas en los trabajos del Metro son las llamadas METAGRADO, es de invención norteamericana y la fabrican en Keuffel & Esser Co. . Consta de dos piezas que lleva las marcas pintadas sobre una cinta de acero, (ver fig. - IV.1.3.). Su posición es tal que, cuando se trabaja correctamente con ella, da las mismas lecturas que las que se obtienen con una mira construida por una sola pieza de acero. Si se observan además las temperaturas en las distintas observaciones pueden calcularse las dilataciones que sufre con la temperatura el acero y así calcularse los valores probables. A estas miras se les adapta un nivel esférico - manuable para conservar su verticalidad durante el trabajo (denominado niveleta).

En las nivelaciones más o menos precisas y en la ciudad se usa para colocar las miras las llamadas PLACAS o SAPOS de Nivelación, (ver fig. IV.1.4.) para cuando no se pueden encontrar puntos donde colocar las miras, o cuando se requiere buena precisión.

Después de esta breve descripción de los instrumentos elementales para el efecto de la Nivelación, pasemos a ver la mecánica a seguir en el Método de Nivelación Diferencial: Como generalmente el objeto de esta nivelación consiste únicamente en la determinación del desnivel entre dos pun--

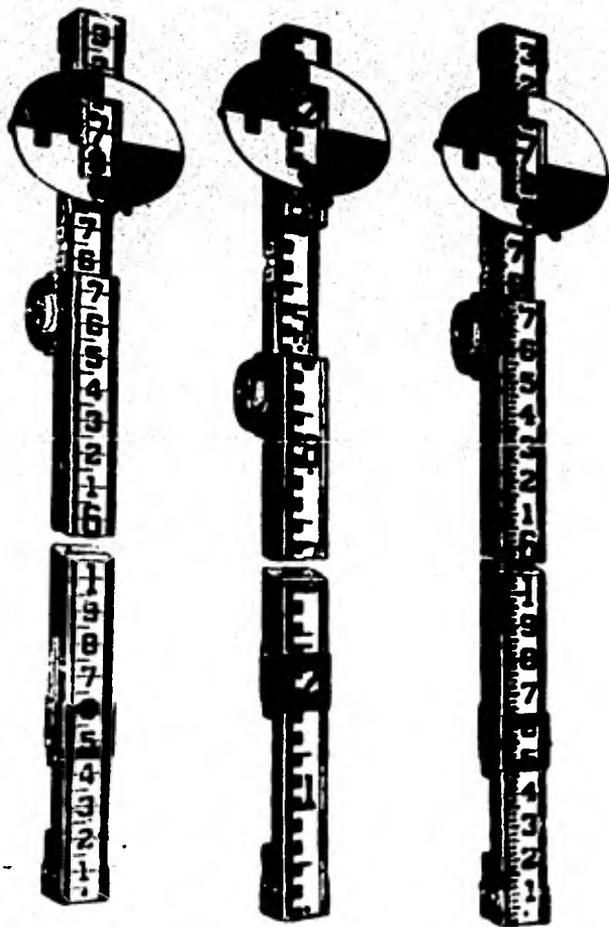


FIGURA IV. 1. 3.

Miras metagrado. Las lecturas son las mismas que si la mira fuera de acero sólido.

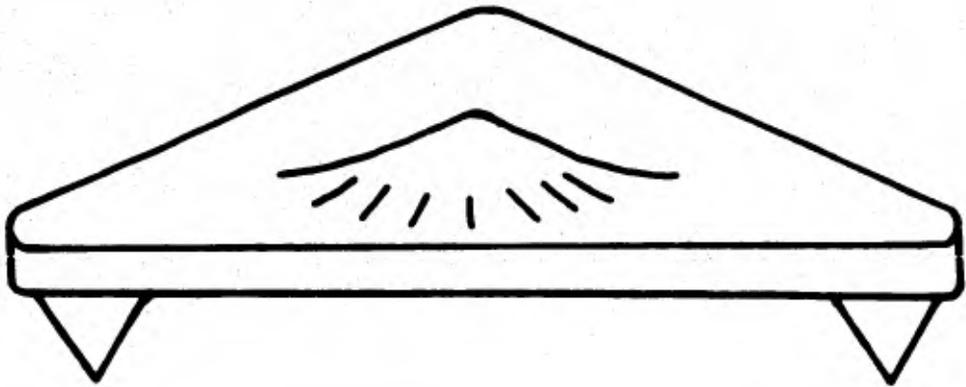


FIGURA [V. I. 4 Placa de nivelación o Sapo.

tos, (de esta manera se pusieron los bancos en la obra), no es necesario tener itinerario especial, sino que se puede seguir por donde sea más cómodo para la ejecución del trabajo. El procedimiento a seguir es el siguiente:

Se instala el nivel I_1 a la altura y a la distancia convenientes del primer banco de nivel ; "A", se coloca un estadal se hace la primera lectura (si es de precisión se leen las cantidades señaladas con los 3 hilos de estadia esto es, h_m e h_i) la mira por supuesto está colocada y lo más vertical posible sobre el Banco de Nivel "A". El plano que contiene a la línea de colimación es el plano de referencia -- vertical para la nivelación; por lo tanto a partir de este nuevo plano base horizontal se puede encontrar la elevación del siguiente punto PL_1 . Vamos a ver si estuviéramos hablando de una nivelación sencilla, si la lectura del estadal en PL_1 fuera 1.005m, quiere decir que el PL_1 está 1.005m abajo de este plano de referencia y con una simple resta se obtiene la elevación de PL_1 . Una vez teniendo la elevación de PL_1 , se traslada el instrumento a I_2 ; con la lectura positiva del estadal en el PL_1 se llega al plano definido por la línea de colimación 2, y con la lectura negativa del estadal en PL_2 , se llega al PL_2 , y así sucesivamente hasta llegar al otro punto extremo B.

Como se puede observar en la fig. IV.1.5.; teniendo el nivel en el centro de BN_A y PL ó PL y PL se elimina automáticamente el error por curvatura de la Tierra, Refracción y del error motivado por el desajuste del equialtimétre.

Lo que comúnmente se llama "Altura de Nivel" es en realidad

la elevación de la línea de colimación.

El Registro para este tipo de Nivelación con lectura de un solo hilo (hilo medio) es el siguiente:

REGISTRO

PROYECTO: SISTEMA DEL F.C. METRO. OBSERVADOR: Ubertino Glez

LUGAR Y FECHA: Mex. D.F. 15-XII-79 INSTRUMENTO: Zeiss Opton

Ni 2

P.V.	Lec (+)	A. \mathcal{K}	A.	Lec (-)	Elevación	Notas
BN ₃	0.142	2245.150			2245.008	BN P. Atz.
PL ₁	0.845	2243.401	2.594		2242.556	
FL ₂	0.246	2240.155	3.492		2239.909	
PL ₃	0.174	2237.681	2.648		2237.507	
PL ₄	0.729	2235.247	3.163		2234.518	
PL ₅	0.591	2234.826	1.012		2234.235	
PL ₆	1.314	2234.738	1.402		2233.424	
PL ₇	1.500	2234.589	1.549		2233.189	
PL ₈	1.301	2234.810	1.180		2233.509	
PL ₉	1.385	2234.507	1.688		2233.122	
PL ₁₀	1.353	2234.588	1.272		2233.235	
PL ₁₁	1.802	2234.967	1.423		2233.165	
BN ₁₀			2.118		2232.849	BN ₁₀

REGISTRO IV.1.A.

+ 11.382	- 12.159
<u>- 23.541</u>	<u>+ 2245.008</u>
- 12.159	+ 2232.849

Comprobación de que nuestra nivelación es correcta númerica mente.

Nivelación De Francisco Con Doble Altura
 Aparato: REGISTRO NO. 2

Nivel: Uberlino Amador B.
 Aparato: Carl Zeiss

Lectura	Intervalo	Remedio	π	Lectura(-)	Intervalo	Remedio Elev.	B.N.
0.202	.067			2.734	140		2245.008
0.135	.060			2.586	147	2242.555	PL ₁
0.067				2.439			
0.698	173			2.496	210		
0.574	174			2.286	210	2240.793	PL ₂
0.350				2.076			
0.361	115			2.303	154		
0.246	119			2.149	155	2238.875	PL ₃
0.132				1.994			
0.257	100			2.885	174		
0.157	100			2.711	173	2235.335	PL ₄
0.057				2.538			
0.534	150			2.260	121		
0.384	150			2.139	122	2234.581	PL ₅
0.234				2.017			
0.260	104			1.480	160		
0.156	104			1.320	161	2233.417	PL ₆
0.052				1.159			

REGISTRO IV.1.3.

Medición De Tensión Con Doble Alambre

Registro No. 1

Medidor:
Ubertino González G.

Fecha: 20-11-78

	Deflexión	Intervalo	Promedio \bar{A}	Lectura (1)	Deflexión Prom.	Elev.	B.U.
Hilo S	0.198	066		2.730	147		2245.008
Hilo M	.132	066	2245.140	2.583	147	2242.559	PL
Hilo J	.066			2.436			
	0.691	174		2.491	210		
	0.517	175		2.281	210	2240.793	PL
	0.342			2.078			
	0.342	115		2.234	054		
	0.227	115		2.130	053	2238.870	PL
	0.112			1.977			
	0.255	101		2.384	173		
	0.154	100		2.718	174	2236.333	PL
	054			2.527			
	0.534	150		2.260	122		
	0.384	150		2.138	121	2234.579	PL
	0.234			2.017			
	0.258	103		1.481	161		
	0.155	103		1.320	161	2233.419	PL
	0.052			1.159			

REGISTRO IV.1.E.

122

REGISTRO

TRABAJO: Viv. de Perfil para Proyecto de Fuberia de A.P. de
 $\phi = 48''$.

LUGAR: Av. Ferrocarril Hidalgo. Mexico, D.F.

FECHA: 21-IX-79.

OBSERVADOR: Ubertino Gonzalez Glez.

Aparato: Zeiss Opton Ni. 2 .

ESTACION	LEC.(+)	A. \bar{K} A.	LEC.(-)	ELEV.	OBSERS.
P. V.					
BN-10	0.832	33.681		2232.849	BN 10
0+000			1.682	31.799	
0+020			1.648	32.033	
0+025.900			1.578	32.103	PI ₁
0+040			1.393	32.288	
0+060			1.695	31.926	
0+065.605			1.788	31.893	
FL ₁	1.748	31.777	1.364	30.029	
0+080			1.709	30.068	
0+100			1.842	29.935	
0+120			1.731	30.046	Av. S.J.A.
FL ₂	0.634	31.398	1.013	30.764	
0+140			1.497	29.901	
Etc.			Etc.	Etc.	Etc.

REGISTRO IV.I.C

El Registro para la Nivelación de Precisión es el siguiente (Registro IV.1.3.)

NIVELACION DE PERFIL

Esta Nivelación de Perfil es otra de las variantes de la Nivelación Directa y el objeto de ésta como ya antes mencionamos tiene por objeto determinar las elevaciones de puntos a distancias conocidas (generalmente a cada 20m) sobre un trazo, para obtener el perfil del mismo.

Esto nos obliga a intuir que el trazo sobre el terreno y -- las distancias entre los puntos, se marcan separadamente de antemano.

El procedimiento es enteramente semejante al de la Nivelación Diferencial, y deben de seguirse las mismas indicaciones y precauciones. La diferencia estriba en que cada posición del aparato, entre dos puntos de liga, se toma también lecturas en los puntos del trazo establecido.

En estos puntos del trazo, el estadal se coloca en el terreno pues es el dato que se necesita, las lecturas en estos puntos entre más fieles y cuidadosos sean mayor fidelidad tendremos en el Perfil del terreno por ende como he mencionado antes redundará en el aspecto económico.

Ver Registro IV.1.C.

A partir de cada una de estas cotas o elevaciones de las estaciones se hace el perfil en un papel milimétrico y en función de esto se proyecta la rasante hidráulica de la tubería de agua potable en este caso; en otro se proyectará la obra que se necesite o se requiera. Una vez más vemos la importancia de la Topografía en las obras Civiles y Arquitecto-

tónicas.

De las elevaciones de las estaciones de 20m hacemos una extensión para nivelar la calle o franja de terreno que la obra requiera, esto es a uno y a otro lado del eje del Metro en el presente trabajo. A este tipo de trabajo es a lo que se le llama SECCION TRANSVERSAL y es la que nos dá el perfil transversal de la zona o calle que aloja la obra. Además sobre de estas secciones se proyecta el ancho de vialidad así como su bombeo, carpeta, guarnición etc., ver fig. IV.1.6.

- 1.- Sardinel de Parámetro.
- 2.- Corona de Guarnición de Acera. Izq.
- 3.- Carpeta Asfáltica (rasante)
- 4.- Carpeta Asfáltica (rasante)
- 5.- Corona de Guarnición de Camellón Izq.
- 6.- Corona de Guarnición de Camellón Der.
- 7.- Carpeta Asfáltica.
- 8.- Carpeta Asfáltica
- 9.- Corona de Guarnición de Acera Der.
- 10.- Nivel de Sardinel Parámetro Der.

En la Fig. IV.1.6. podemos apreciar una sección de la calle por la que pasará el Metro, se puede ver en la sección que corresponde a la corona que forma un camellón de 5m para -- proteger las columnas del Metro, el Arroyo y la zona de Acera la que en ocasiones incluye zona jardinada.

En la Fig. IV.1.7. se aprecian los diferentes tipos de secciones.

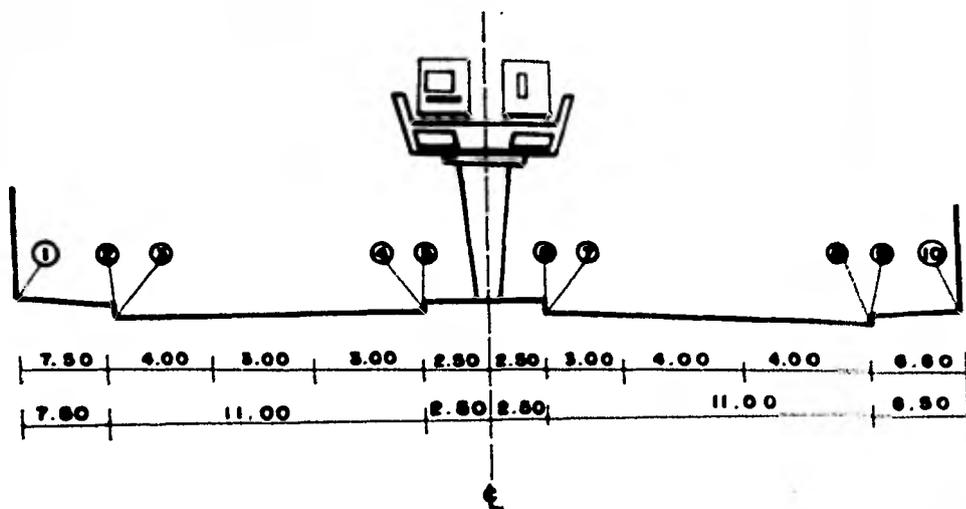
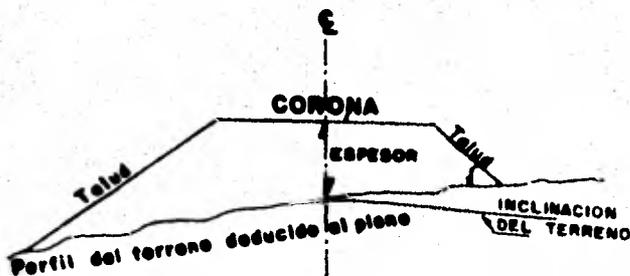


FIGURA IV .1.6

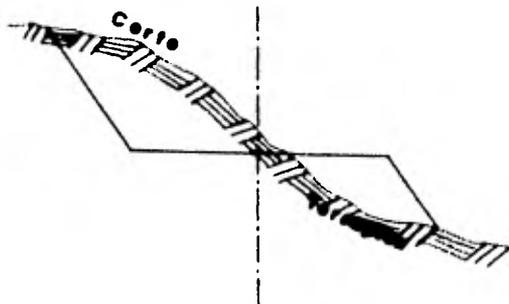
Sección Transversal de Proyecto Para Eje Vial y Metro.



a) SECCION EN TERRAPLEN



b) SECCION EN CORTE



c) SECCION EN BALCON

FIGURA IV.1.7.

En esta figura se muestran las secciones que generalmente se presentan en la práctica, y las que nos sirven para calcular los movimientos de terreno y elaborar la curva masa.

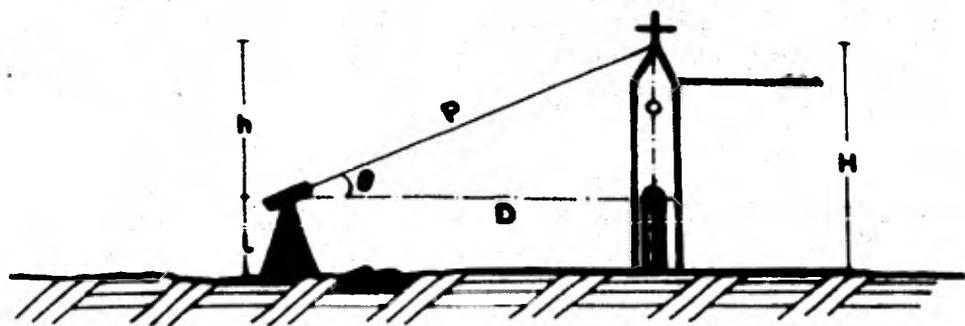
NIVELACION INDIRECTA.

De este tipo de nivelación nos concretaremos a ver la Nivelación Trigonométrica (se aborda de una manera muy superficial).

La Nivelación Trigonométrica consiste en determinar el desnivel por medio del ángulo vertical y la distancia horizontal o inclinada, empleando el Tránsito en lugar del Nivel. Como se aprecia en la Fig. IV.1.8. .

Hay una gran variedad de casos que se nos pueden presentar para lo que los conocimientos, geométricos, trigonometricos y algebraicos nos son de gran utilidad.

Pero volvamos a la que nos ocupa que es la Línea Elevada; después de las brevísimas explicaciones de las diferentes maneras de efectuar las nivelaciones. Como ya había mencionado antes se planificó para el control de la obra segbrar una serie de bancos auxiliares a uno y otro lado de ésta en lugares más o menos confiables. La Nivelación con la que estos bancos se pusieron fué de precisión, esto es con lectura de los tres hilos, o sea los hilos estadimétricos como se ve en el Registro IV.1.B. Se lee hilo Superior, hilo Medio e hilo Inferior, las diferencias $H_s - H_m = \text{Int. 1}$ y $H_m - H_{\text{inf.}} = \text{Int. 2}$, la diferencia entre $\text{Int. 1} - \text{Int. 2} \leq \pm 1 \text{ mm}$ y con esto estamos garantizando que la Nivelación está bien hecha y que no tenemos equivocaciones y que los errores son mínimos, además para asegurar la precisión un poco más, se hizo la nivelación con doble altura de aparato y es como sigue: Por este procedimiento las nivelaciones que se llevan quedan totalmente



Si se mide "D" $\text{Tang } \theta = \frac{h}{D} \implies h = D \text{Tang } \theta$
 $H = D \text{Tang } \theta + i$

Si se mide "h" $\text{Sen } \theta = \frac{h}{P} \implies H = P \text{Sen } \theta + i$

FIGURA IV. I. 8.

independientes, pues se van comprobando las diferencias de lecturas en PLs (PL = Punto de Liga) consecutivos y no tienen en común la primera y última lecturas, como lo es en el caso doble punto de liga. Ver Fig. IV.1.9.

Como se puede ver permanece inmóvil durante los dos cambios del aparato y también se intuye que los registros se llevarán por separado y las elevaciones de los PLs serán iguales en elevación o cuando mucho diferirán en ± 1 mm o a lo más ± 2 mm.

Este criterio más el de la lectura de los 3 hilos nos da -- confianza y seguridad en el trabajo, por lo que se puede decir que los bancos así puestos están bien.

Una vez que se establecieron los bancos de Nivel Auxiliares se nos presentaba el problema del hundimiento de la Ciudad de México * lo que ocasionaba movimientos en los bancos por lo que se decidió correr una nivelación mensual para vigilar el comportamiento, tal y como se puede observar en la gráfica de control. A partir de estas observaciones saltaba de inmediato un problema ¿Qué íbamos a hacer si la obra -- tardaba en construirse más de un año ? Cosa que así sucedió pues el proyecto en algunos tramos tenía más de un año y -- los niveles con que se habían proyectado las estructuras, -- esto es, niveles de zapatas, topes de colado de columna, -- subrasante, etc., no se podía estar rediseñando el Proyecto * Según observaciones llevadas por el Depto. de Supervisión ECON (Topografía) aquí en la Línea 4, el promedio de hundimiento de los bancos auxiliares es entre 6 y 7 cm anualmente.

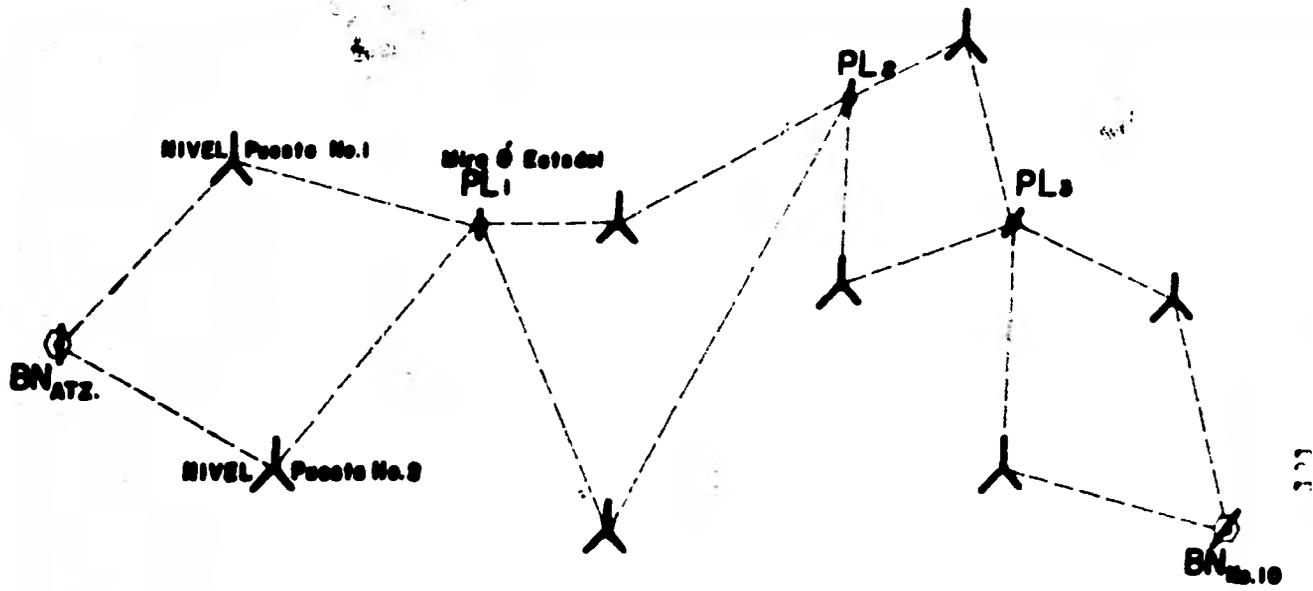
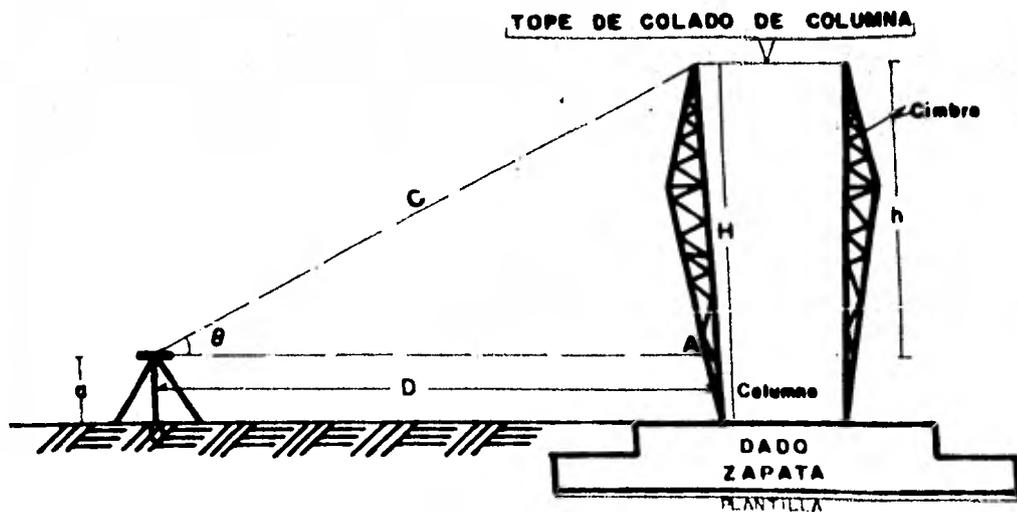


FIGURA IV. I. 9

Observese el Itinerario. No se sigue ninguno en especial, sino el que mejor visibilidad ofrece el terreno por donde se lleve la niveleación.

cada año, pues ya que con niveles anteriores se había construido las columnas; las trabes correspondientes a estas mismas columnas, se construyeron un año después y observamos que los bancos que habíamos utilizado para fijar niveles a las columnas ya se nos habían movido 6 ó 7 cm. Esto nos hubiera ocasionado un problema de no haberse detectado con anticipación el movimiento de los bancos auxiliares. La solución consistió en adoptar el criterio de que con la misma cota de los bancos con que se inició la construcción, con esa misma continuar las etapas subsiguientes hasta terminar con la rasante del Metro y la terminación de las estaciones puesto que supusimos (Proyectistas, Constructores y Supervisores) que el terreno a los 100 m más o menos del Eje de Viaducto se comportaba de manera semejante, esto es, se hundía o se bufaba; más claro, si se movía el lugar donde están las estructuras del Metro, donde están los bancos se movía de manera muy semejante el lugar donde estaban los bancos, y así se resolvía el problema de re proyectar las estructuras en cuanto a niveles.

Para llevar los niveles de estos bancos a lugares que se requerían, de estos Bancos Auxiliares se corrían nivelaciones sencillas de ida y vuelta a los arbotantes que están en la calle de la obra, o también se escogían lugares prominentes y más o menos fijos y que no se alcanzarán por las máquinas, estos puntos los llamamos PLs (Puntos de Liga) que no son otra cosa que Bancos Auxiliares de Niveles. Estos PLs se vigilan mediante nivelaciones que se corren cada 4 o 5 días o según la necesidad a partir de los Bancos Auxiliares



$$\text{Sen } \theta = h + a \div C$$

$$h = (\text{Sen } \theta \div C) - a$$

$$H = D \text{ Tan } \theta$$

$$h + a = D \text{ Tan } \theta$$

$$h = (D \text{ Tan } \theta) - a$$

FIGURA IV. I. IO.

VEASE UNA MANERA DE SUBIR UN NIVEL A UNA COLUMNA.

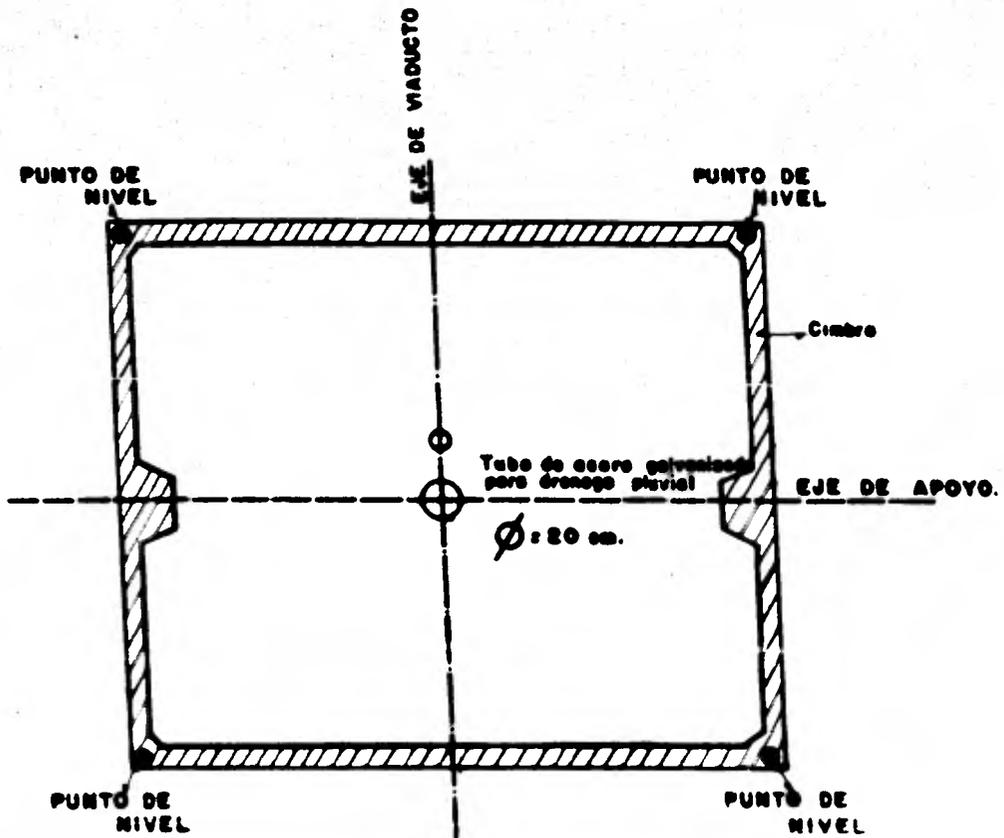


FIGURA IV. I. II.

Vista en planta de la parte superior de una columna

que están en calles paralelas a la de la obra.

De los PLo antes mencionados se partió para nivelar las estructuras en la parte baja, como son nivel de plantilla, nivel tope de zapata y dado; para poner topes de colado de columna que tiene una altura de 4.50m Promedio nivel que ya no podemos poner tan fácil como los mencionados anteriormente. Por lo que optamos por el Método Indirecto de nivelación siguiente:

Ver Fig. IV.1.10.

Se centra el tránsito a una distancia cualquiera "D" y se visa la parte alta de la cimbra de la columna se toma la lectura del ángulo vertical "θ", tanto en el sentido directo del aparato como en el inverso, con anticipación a lo anterior se marcan y nivelan una paloma sobre el dado y otra sobre la cimbra, para después añadir a estos niveles la altura faltante "h", igualmente se mide la distancia "D" o "C" con mucho cuidado del tránsito a la columna, posteriormente con la fórmula $h = (D \tan \theta) - a$ ó $h = \left(\frac{\text{Sen } \theta}{c}\right) - a$, si se nivela la paloma colocada en el Dado, pero se ha nivelado la paloma "A" colocada en la cimbra tendremos que nuestra fórmula será: $H - a = D \tan \theta$; el del tope de colado de columna sera $NTC = ND + h$ ó $NTC = ND + H$. De esta manera se sube el nivel a los cuatro extremos de la columna ver Fig. IV.1.10.

Después que son coladas las columnas se descimbran, ocurrido esto subimos nuevamente nuestros niveles para continuar nivelando las estructuras siguientes que son la cimbras de las trabes. En las trabes tenemos que nivelar el Lecho in-

ferior de la trabe, Nivelación de Neoprenos y cuya explicación modesta se da en el tema 1 del Capítulo I de esta Tesis, se dan niveles para el tope de colado de losa superior que no es otra cosa sino la subrasante.

La nivelación de la cimbra que es lo mismo que el Lecho Inferior de cimbra como lo especifica el Plano del Proyecto de Perfil se pone de la siguiente manera:

Supongamos que el claro entre dos columnas ubicadas en el tramo GT (Gustavo A. Madero-Talisman) que más tarde se modificó por el de Martín Carrera-Talisman es GT-13 = --- = 3+601.770 y GT-14 = 3+636.770 (35m); en esta trabe observamos que intervienen 2 elementos Topográficos muy importantes, estos son una curva horizontal y una curva vertical que se inicia PCV = 3+597.377, o sea 4.393m antes de la GT-13 y PTV = 3+647.377, o sea 10.607m después de la columna GT-14. Como se aprecia en el plano titulado PLANO DE PROYECTO DE PERFIL, Tramo: Martín Carrera- Talisman km ----- 3+145.816 al km 4+425.000, no se encuentran dados los niveles del eje de columna, por lo que en algunos casos debemos de calcular los niveles en campo para las necesidades de construcción, en pocas palabras debemos de estar preparados los Ingenieros Topógrafos para los cálculos de puntos cualesquiera de una curva de este tipo; decíamos anteriormente que el claro es de 35 m lo dividimos entre 2 para obtener el centro del claro 17.50m; y de éste (E) repartimos a cada 5m la trabe como se ve en la fig. IV.1.12. y del centro hacia los extremos nivelamos a cada 5m y el último tramo de 25m. Los neoprenos tienen el mismo nivel, esto es, el mismo

que el lecho inferior de cimbra.

De estos niveles nos levantamos 2.20m para encontrar el tope de colado de losa superior o subrasante.

Ver Fig. IV.1.12.

NIVELES DE SUB-RAS	NIVELES DE LECHO INF. DE CIM.	CADENAMIENTO DE . . .
2242.750	2240.550	3+636.770
2242.770	2240.570	3+634.270
2242.801	2240.601	3+629.270
2242.822	2240.622	3+624.270
2242.833	2240.633	3+619.270
2242.834	2240.634	3+614.270
2242.826	2240.626	3+609.270
2242.807	2240.607	3+604.270
2242.794	2240.594	3+601.770

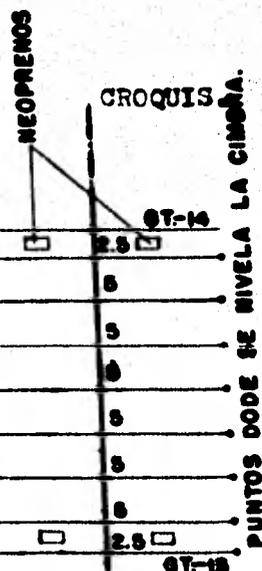


FIGURA IV. 1. 12.

Muy bien, pues una vez encontrados los cadenamientos o estaciones a las que nos conviene nivelar procedemos a calcular los niveles, cosa que nos es muy difícil en tramos que están en tangente pues la manera de hacer esto es ir multiplicando la pendiente $\pm P$ por los intervalos de 5m y así encontraremos dichas elevaciones, pero como ya dijimos antes estamos en una zona de curva parabólica cuyas elevaciones se calculan de manera diferente y mediante la fórmula:

$$Y = Y_0 + \frac{P \cdot L}{100} - t$$

tomaremos la curva : PCV = 3+597.377 $Y_0 = 2242.710$

PTV = 3+647.377 $A = 2$

PIV = 3+622.377 $L = 50m$

$$P_1 = +1\%$$

$$P_2 = -1\%$$

Cadenamiento en los que necesitamos poner niveles para nuestra cimbra.

$$GT-13 = 3+601.770$$

$$PCV = 3+597.377$$

$$\text{Diferencia} = 4.393m$$

PCV = Y	= 2242.710	= 2242.710	$l_1 = 4.393$
Y ₁	= 2242.710 + 0.044 - 0.004 = 2242.750		$l_2 = 2.500$
Y ₂	= 2242.710 + 0.069 - 0.010 = 2242.770		$l_3 = 5.000$
Y ₃	= 2242.710 + 0.119 - 0.028 = 2242.801		$l_4 = 5.000$
Y ₄	= 2242.710 + 0.169 - 0.057 = 2242.822		$l_5 = 5.000$
Y ₅	= 2242.710 + 0.219 - 0.096 = 2242.833		$l_6 = 5.000$
Y ₆	= 2242.710 + 0.269 - 0.145 = 2242.834		$l_7 = 5.000$
Y ₇	= 2242.710 + 0.319 - 0.203 = 2242.826		$l_8 = 5.000$
Y ₈	= 2242.710 + 0.369 - 0.272 = 2242.807		$l_9 = 2.500$
Y ₉	= 2242.710 + 0.394 - 0.310 = 2242.794		
PTV = Y ₁₀	= 2242.710 + 0.500 - 0.500 = 2242.710		

Manera de poner Niveles en los pilotes.

Esto se hace de la forma siguiente:

Suponemos que ya tenemos cerca del Apoyo que necesitamos -- por ejemplo la TB-7 = 4+617.500, y sobre de los puntos que primeramente se trazan los 27 puntos en este caso que corresponden al centro del pilote y se nivela el terreno donde estan dichos puntos, conforme a la numeración que les damos para seguir un orden en la nivelación y no confundir elevaciones luego comparamos el terreno con el desplante de plantilla menos la del descabece de los pilotes y esta es -

la cota del proyecto, hacemos simples subtracciones y encontramos las profundidades del terreno natural al pilote. Estos cortes nos sirven para decirle al que maneja la Máquina Piloteadora cuando debe para el incado de estos y quedar -- listos para las etapas subsiguientes.

Ver. Fig. IV.1.13.

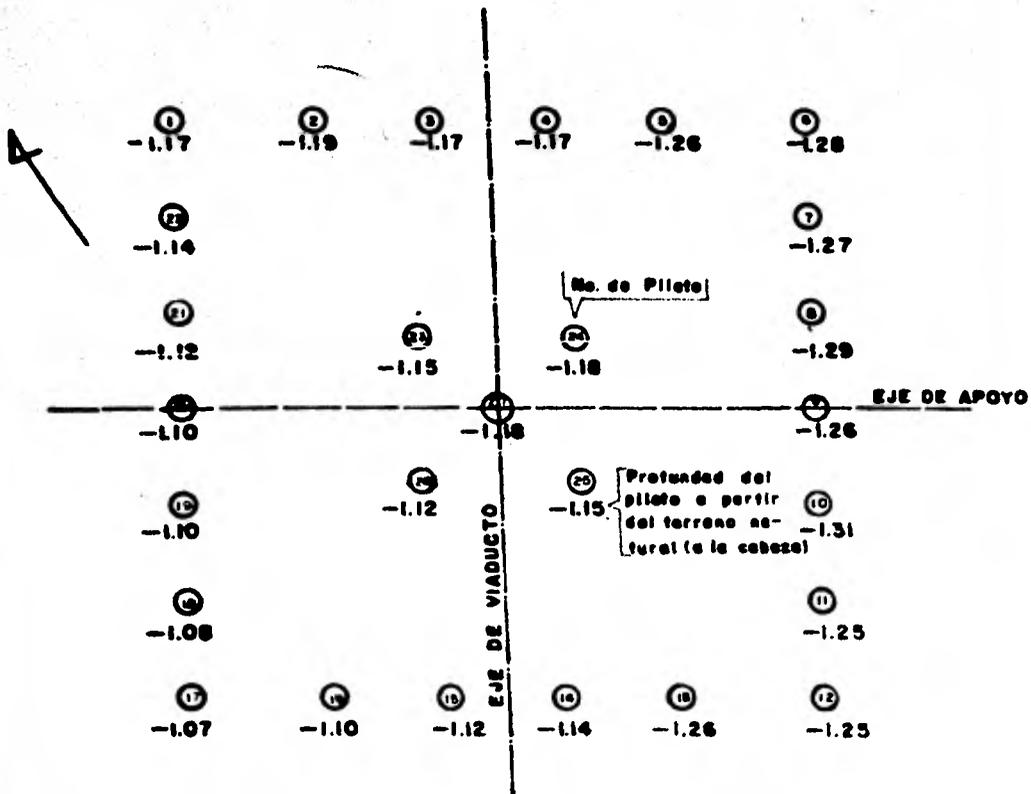
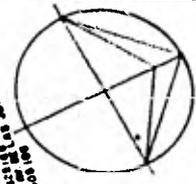
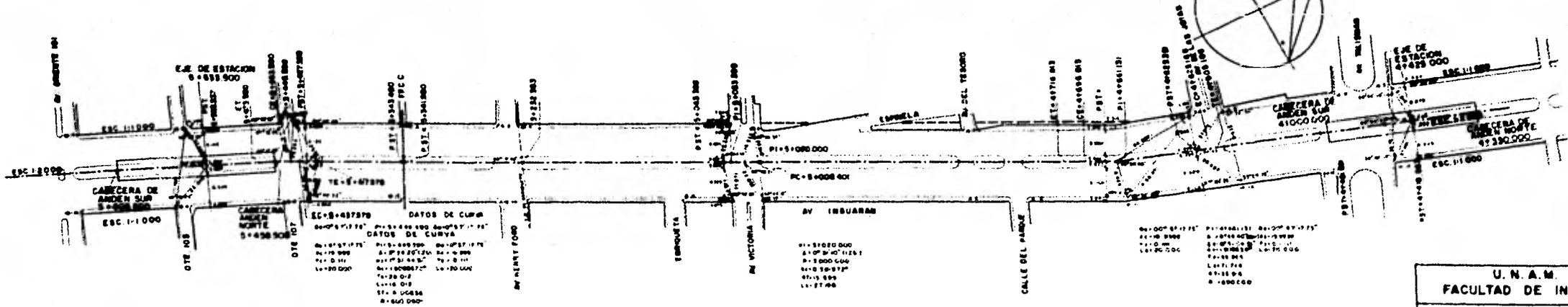


FIGURA IV. 1.13

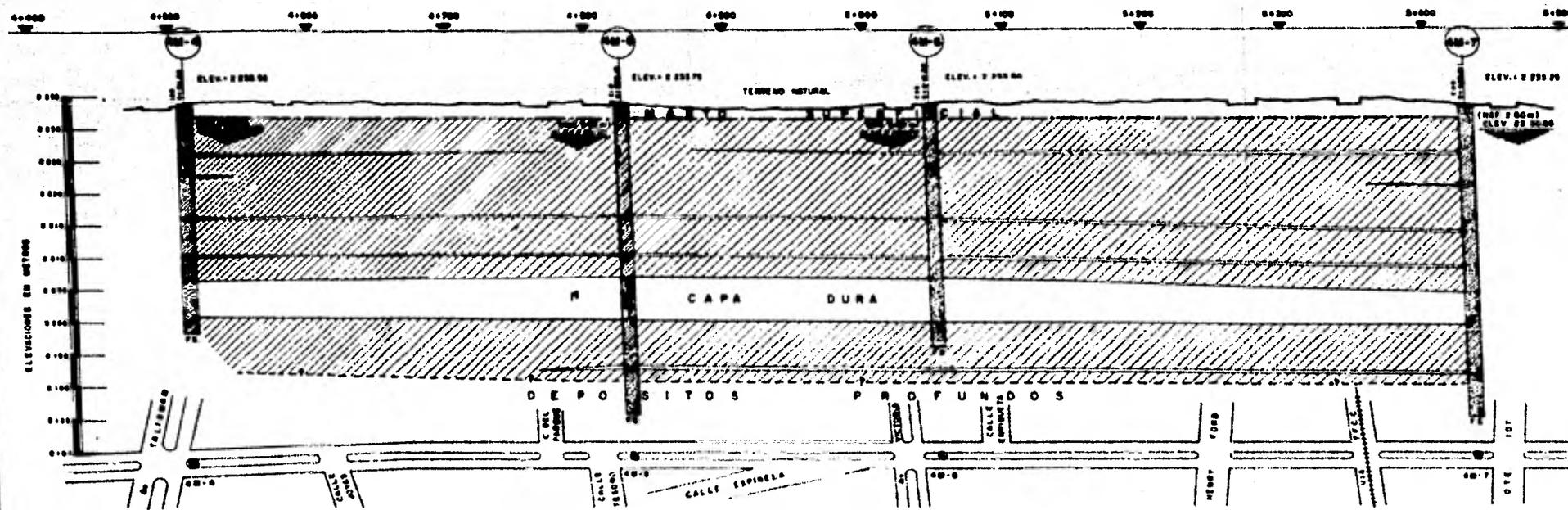
Nivelación de los pilotes de una zapata.

NOTA:

De tomar mediciones cercar



U. N. A. M. FACULTAD DE INGENIERIA		
LINEA 4 METRO ELEVADO		
REFERENCIACION DE TRAZO		
TRAMO TALISMAN - BONDJOITO		
DEL KM 4 + 390 00		
AL KM 5 + 608 50		
NOVIEMBRE - 1979	ESC. INDICA	PLANO No. 1



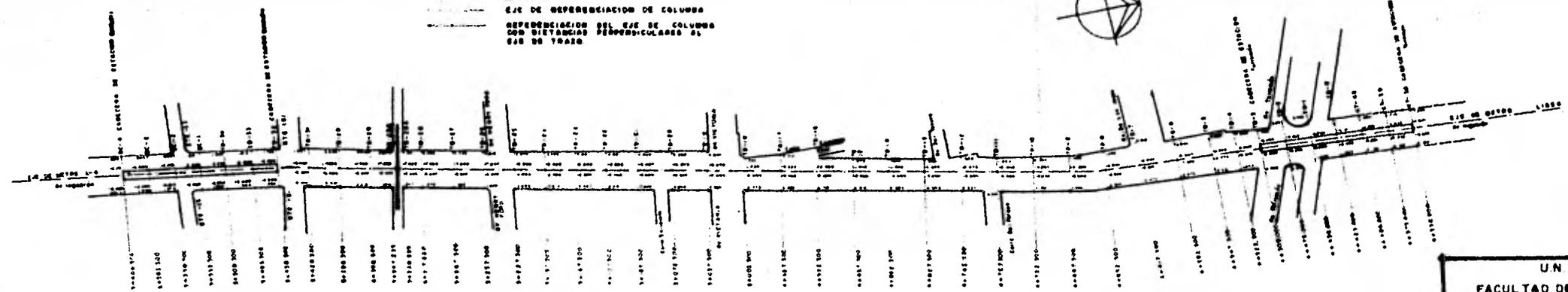
- PELLENO
- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA
- FOSILES
- VIDRIO VOLCANICO
- F.S. FIN DEL SONDEO

U. N. A. M.
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LINEA 4 METRO ELEVADO
 PERFIL ESTRATIGRAFICO GENERAL
 TRAMO TALISMAN - BONDJOITO
 DEL Km 4+511.00
 AL Km 5+429.00
 DICIEMBRE - 1978 ESC. HOR 1:2000 VERT 1:400 PLANO No. 2

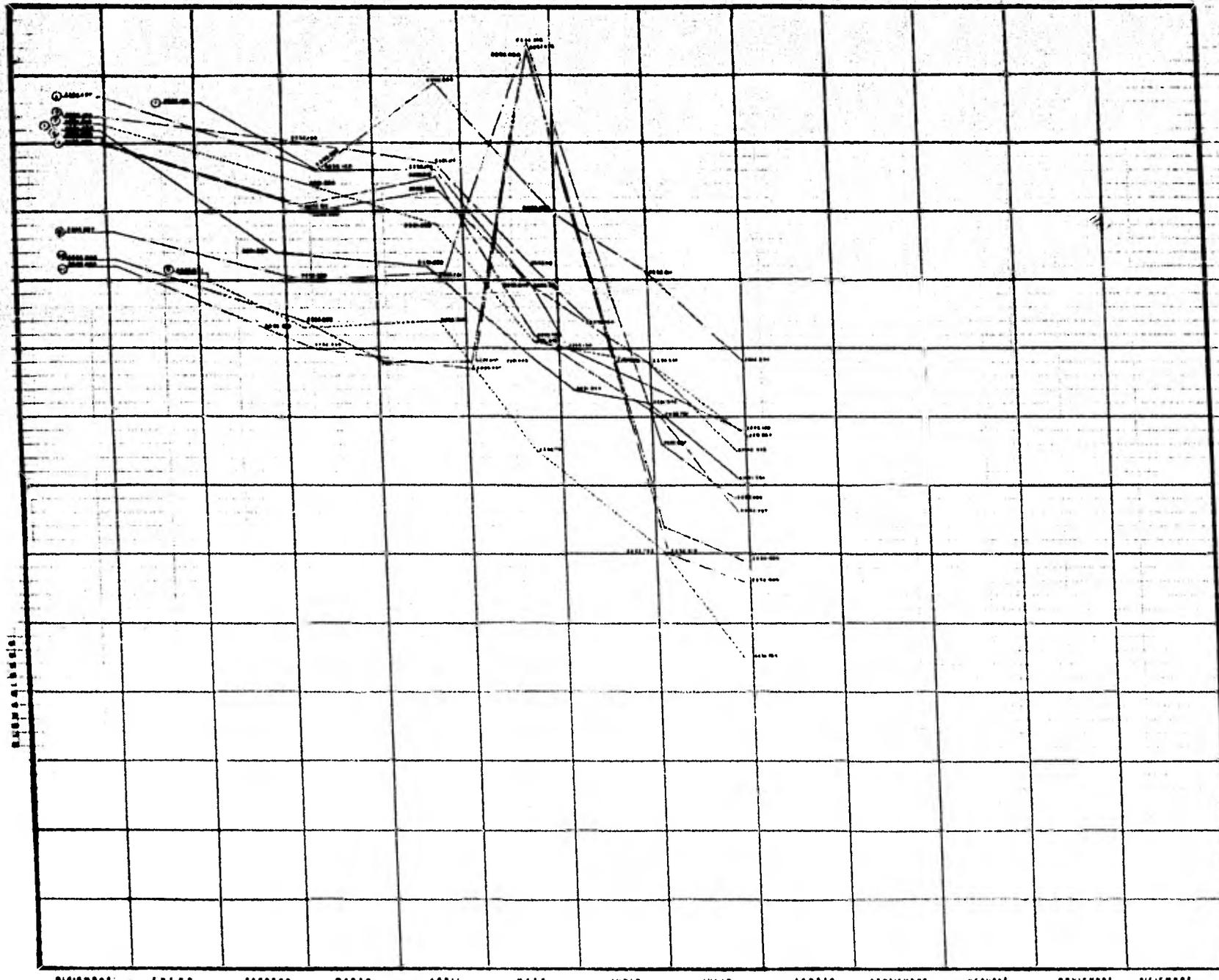
SIMBOLOGIA

- EJE DE METRO
- EJE DE REFERENCIACION DE COLUMNA
- EJE DE REFERENCIACION DE COLUMNA CON DISTANCIAS PERPENDICULARES AL EJE DE TRAZO

NOTAS:
 DE 100000 DISTANCIA A 00000



UNAM		
FACULTAD DE INGENIERIA		
LINEA 4 METRO ELEVADO		
REFERENCIACION DE COLUMNAS:		
TALISMAN-BONDOJITO		
DEL KM. 4+425 000		
AL KM. 5+533 900		
ENEPO-1980	ESC. 1:2 000	PLANO No. 5



NOTAS:
 1- EL ORIGEN DE ESTOS C.C.R. AFERRADOS
 ELEVACION 5000.000 M. S.N.M.

NOTA. A ESTA LINEA DE LA RA. SE HAN DE MARCAR LOS ELEVACIONES
 PARA CADA UNO DE LOS PUNTOS

01-100-1	500.000	01-100-7	500.000
01-100-2	500.000	01-100-8	500.000
01-100-3	500.000	01-100-9	500.000
01-100-4	500.000	01-100-10	500.000
01-100-5	500.000	01-100-11	500.000
01-100-6	500.000	01-100-12	500.000

GRAFICA DE CONTROL DE MOVIMIENTOS DE LOS
 EN-ING

SIMBOLOGIA

01-100-1	—	01-100-7	—
01-100-2	—	01-100-8	—
01-100-3	—	01-100-9	—
01-100-4	—	01-100-10	—
01-100-5	—	01-100-11	—
01-100-6	—	01-100-12	—

DICIEMBRE ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE

ESC. VERTICAL UN DIA 50 A 1/50
 ESC. HORIZONTAL 1:1

1 9 7 8

U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE METRO ELEVADO

GRAFICA DE CONTROL DE LOS MOVIMIENTOS DE LOS EN-ING

COP DE BIVIL SUPPLEMENTALES DEL 1 AL 8

FECHA DE 1955 TITULO (EN-ING) PAGINA 6

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Métodos Topográficos, por el Ing. Ricardo Toscano. Editorial Ferrus S.A.
- 2.- Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, primera edición. Secretaria de Obras Públicas.
- 3.- Topografía Para Ingenieros, de Philip KISSAM, C. E. Editorial Libros McGRAW-HILL.
- 4.- Topografía Aplicada a la Construcción, Biblioteca Para la Industria de la Construcción, B. Austin Barry. Editorial Limusa.
- 5.- Topografía, por el Ing. Miguel Montes De Oca. Editado por Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.
- 6.- Tratado General de Topografía. W. Jordan.
- 7.- Topografía General, Por el Ingeniero Saburo Higashida Miyabara.
- 8.- Ferrocarriles, por el Ing. Francisco Togo, Edición 1978. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.
- 9.- Anuario del Observatorio Astronómico Nacional, Año de 1979.
- 10.-Almanaque Mundial 1980, Suplemento México, Editora América S. A.
- 11.-El Metro una Solución al problema del Transporte Urbano, Por Jorge Espinoza Ulloa. Editado por representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.
- 12.-Especificaciones Para el Trazo y el Cálculo de Curvas Clotoides. Cia. Aerofoto S.A.

F I S I O G R A F I A

- 1.- Métodos Topográficos, por el Lic. Ricardo Toccano.
Biblioteca Formosa S.A.
- 2.- Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, primera edición. Secretaría de Obras Públicas.
- 3.- Topografía Para Ingenieros, de Philip Kilsam, C. E.
Biblioteca Libros McGraw-Hill.
- 4.- Topografía Aplicada a la Construcción, Biblioteca Para la Industria de la Construcción, R. Austin Barry. Edición Formosa Libros.
- 5.- Topografía, por el Lic. Miguel Montes De Oca. Edición de los Representantes y Servicios de Ingeniería S.A.
- 6.- Tratado General de Topografía. A. Jordan.
- 7.- Topografía General, por el Ingeniero Sabro Hildebrandt.
Mykarta.
- 8.- Matemáticas, por el Lic. Francisco López, edición de los Representantes y Servicios de Ingeniería S.A.
- 9.- Tratado del Geodesta de Astronomía Nacional, Año de 1977.
- 10.- Tratado de Topografía, edición de los Representantes y Servicios de Ingeniería S.A.
- 11.- El Libro del Topógrafo, edición de los Representantes y Servicios de Ingeniería S.A.
- 12.- Tratado de Topografía, edición de los Representantes y Servicios de Ingeniería S.A.