

11
2ei



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

MICROTRILATERACION EN EL COMPLEJO
PETROQUIMICO MORELOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA
P R E S E N T A :
MIGUEL DARIO SANCHEZ MARTINEZ

México, D. F.

1988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

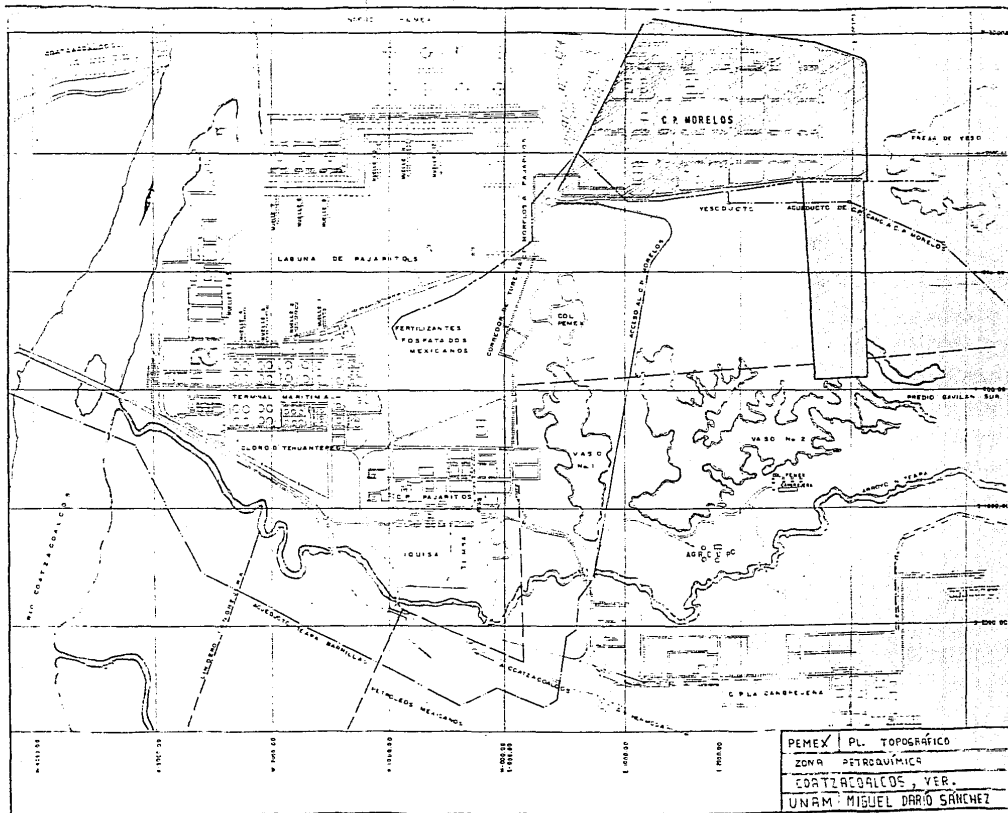
DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

CONTENIDO

Capítulo 1	INTRODUCCION	7
Capítulo 2	PROYECTO DE LA RED	12
2.1	Anteproyecto	12
2.2	Reconocimiento	17
2.3	Preanálisis de la precisión	19
Capítulo 3	MONUMENTACION DE PUNTOS DE CONTROL	32
3.1	Ubicación de los puntos de control	32
3.2	Tipos de monumentación	33
Capítulo 4	MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS (EDM)	39
4.1	Características del EDM	39
4.2	Metodología de la medición	43
4.3	Correcciones a las observaciones	45
Capítulo 5	CALCULOS DE GABINETE	46
5.1	Principio matemático	46
5.2	Cálculos preliminares	53
5.3	Ajuste de la red y coordenadas finales	66
Capítulo 6	CONCLUSIONES	69



PEMEX	PL. TOPOGRAFICO
ZONA PETROQUIMICA	
EDIFICIOS, VER.	
UNAM: MIGUEL DARÓ SÁNCHEZ	

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Generalidades

El desarrollo de la industria petrolera está encaminada hacia la búsqueda de nuevos y mejores métodos con objeto de tener resultados satisfactorios a un mínimo costo, lo cual se logra mejorando la tecnología de tal suerte que permita el buen aprovechamiento de los recursos naturales. México, país petrolero, ha tomado las medidas necesarias para llevar a efecto el estudio de nuevas técnicas para la explotación racional de los hidrocarburos, logrando así, un porcentaje de productividad mayor que el obtenido hoy día. Es por ello que Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha decidido contruir un nuevo complejo petroquímico en el sureste del país, localizado en el ejido de Pajaritos y Gavilán de Allende, municipio de Coatzacoalcos en Veracruz (fig. 1), denominado Complejo Petroquímico Morelos.

El Complejo Petroquímico Morelos (CPM) pretende el aprovechamiento de un recurso no renovable como son los hidrocarburos del petróleo, y en su caso específico, las fases

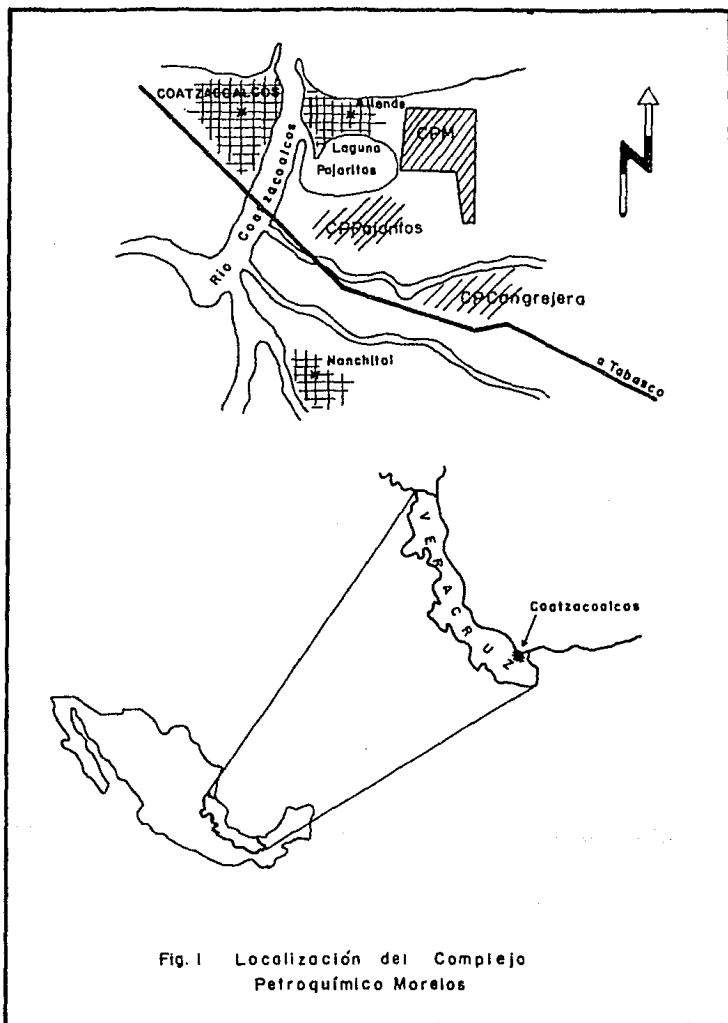


Fig.1 Localización del Complejo
Petroquímico Morelos

residuales y el crudo , el cual se obtiene con la perforación de pozos y posteriormente procesado en las instalaciones llamadas Baterías de Separación, en donde el crudo es separado del gas que lleva consigo.

El objetivo principal de PEMEX es satisfacer la demanda de sus productos, entre los que se encuentran los productos petroquímicos básicos. El CPM obtendrá Etileno y algunos derivados del mismo, aprovechando la disponibilidad de hidrocarburos provenientes del gas y del crudo de las plantas criogénicas de los complejos Tabasco I y II, que se encuentran localizados en la zona productora de Cactus en Chiapas. La situación actual del país requiere de urgentes medidas de apoyo hacia el incremento de la productividad, PEMEX a través del CPM apoya ésta medida. En la tabla 1 se muestra el balance de producción que tendrá el complejo industrial Morelos.

El CPM cuenta con una superficie de 380 Has. colindando al Norte con propiedades del ejido Gavilán de Allende, al Sur con terreno propiedad de I.I.I.S.A. al Este con propiedades de FERTIMEX y al Oeste con terreno propiedad de PEMEX, expropiado al ejido Pajaritos. Para su integración el CPM cuenta con 12 plantas de proceso que son las siguientes:

Planta de Oxígeno y Nitrógeno

" Acetaldehído

MATERIAS PRIMAS	MILES T/AÑO	PRODUCTOS	MILES T/AÑO
		Oxido de Etileno	100
		Acetaldehido	150
HIDROCARBUROS LICUABLES	3'002	Butadieno	100
AMONIACO	24	Acrilonitrilo	50
PROPANO_PROPILENO	95	Alcohol Isopropilico	75
BUTANO-BUTILENO	318	Acido Acrilico	30
AGUA PULIDA	27	Acroleina	6
OXIGENO	350	Glicoles	167
PROPILENO	7	Polietileno	100
		Polipropileno	100
		SUBTOTAL	878
		SUBPRODUCTOS	
		Propano-Butano	1062
		Naftas	783
		Propileno	198
		Isobutano-Iso-buteno	160
		Etileno	353
		Gas Combustible	283
		Desechos	100
TOTAL	3' 823	TOTAL	3' 823

TABLA 1. Balance de producción del
Complejo Petroquímico Morelos

Planta de Propileno

"	Polipropileno
"	Polielileno
"	Etileno
"	Fraccionadora de Hidrocarburos
"	Alcohol Isopropilico
"	Acrilonitrilo
"	Butadieno
"	Acido Acrilico y Acroleina
"	Oxido de Etileno y Glicoles

Se tiene una planta de Servicios Auxiliares que producirá vapor de agua, energía eléctrica y agua para el funcionamiento de las 12 plantas. Contará además, con las instalaciones necesarias para: talleres, almacenes, edificios administrativos, bodegas de polietileno, subestación eléctrica, área S.P.C.O., tratamiento de efluentes, estacionamiento, etc. A su vez el CPM está dividido en cuatro áreas fundamentalmente:

1. Area de Plantas de Proceso
2. Area Administrativa
3. Area de Tanques
4. Area de Quemadores

ésta división se muestra en la figura 2.

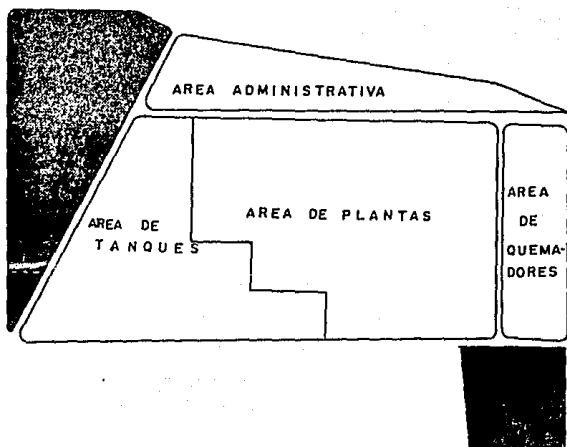


Fig. 2 División por áreas del CPM

A la par con el progreso científico y técnico, PEMEX plantea cada vez más nuevas exigencias ante la calidad y precisión en la construcción de sus instalaciones, éstas, requieren de unas tolerancias mínimas para su realización. El proyecto de dichas instalaciones debe trazarse teniendo en cuenta el lugar específico, alinearse y orientarse con respecto

a las propiedades adyacentes; así, la obra debe construirse de acuerdo a las dimensiones, formas y características requeridas.

El complejo Morelos está referido a un sistema de coordenadas locales establecidas por PEMEX que tienen como finalidad establecer un estricto control en esa zona petrolera (ver Pl. 1).

Para su construcción, el CPM está basado en éste sistema de coordenadas. La construcción de los diversos servicios que integran el complejo como lo son: drenajes, calles, red de comunicaciones, red de alumbrado, soportería elevada, ductos subterráneos, red de agua contra incendios, instalación de maquinaria y de obra civil, etc., deben cumplir determinadas normas técnicas, la solución del problema se garantiza creando una red especial, basada en normas técnicas para levantamientos de precisión.

Las plantas de producción, contruidas con estructuras prefabricadas, necesitan una elevada precisión de montaje, mientras que el equipo que se instala dentro de las mismas requiere una mutua compensación gráfica y tecnológica de montaje particularmente exacta.

1.2 Propósitos y alcances del control horizontal.

Se da el nombre de control horizontal a una serie de operaciones que se ejecutan con el objeto de enlazar algunos

puntos del terreno que se juzgan adecuados para conocer su posición física ya sea gráfica o analíticamente.

El propósito fundamental de los levantamientos para el control horizontal es dar un marco de referencia uniforme para la coordinación de todas las actividades de levantamientos menores dentro de una cierta área así, todo proyecto de ingeniería involucra levantamientos, pero si éstos se realizan con miras a un único propósito, sin el apoyo topográfico o geodésico debido y sin atenerse a las especificaciones adecuadas, los resultados no son recuperables y no pueden integrarse a un sistema único, uniforme que sirva a múltiples propósitos.

El control horizontal puede ser topográfico o geodésico, atendiendo las normas técnicas dispuestas en el Diario Oficial de la Federación con fecha del 10. de abril de 1985. Para llevar a cabo éste tipo de control existen varios métodos de levantamientos:

1. Poligonación
2. Triangulación
3. Trilateración
4. triangulateración *
5. Posicionamiento por Satélites Doppler
6. Método astronómico
7. Método inercial

* Diario Oficial de la Federación del 10 de abril de 1985, p. 26

Para la realización del presente trabajo, los últimos tres métodos quedan excluidos de la selección por estar ligados a consideraciones económicas y a su capacidad relativa para producir los resultados esperados.

Mientras que en la poligonación y en la triangulación se requiere de la medición de ángulos horizontales y que, durante los trabajos de edificación y montaje a menudo resulta difícil medir los ángulos con la precisión necesaria debido a las perturbaciones de construcción y a las líneas cortas, en tales condiciones sólo es posible medir las líneas con ayuda del distanciómetro electrónico y resolver el problema por el método de trilateración.

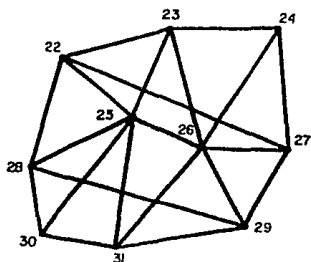


fig. 3 Red de trilateración

La esencia del método de trilateración consiste en una serie de triángulos unidos entre sí (fig. 3), conformando una

red en la que se miden únicamente los lados de los triángulos que conforman la red, a partir de los cuales se calculan los ángulos interiores para cada triángulo para posteriormente ajustar la red y calcular las coordenadas finales de los vértices de los triángulos.

Para una mayor precisión en la obtención de las coordenadas se calcularán éstas por medio de procedimientos geodésicos. La red ajustada se ligará a vértices de triangulación nacional, lo que contribuye a que el sistema local de coordenadas de los puntos de la red, adoptado para la construcción, sea calculado de nuevo según la red nacional de coordenadas.

Con el presente trabajo se pretende ejercer un estricto control horizontal sobre el área de las plantas de proceso (fig. 2) que como ya se indicó, requieren de una alta precisión en sus coordenadas para el montaje de equipo, de prefabricados y de ductos que unen a las diferentes plantas.

Con éste control, en el CPM se logra una cantidad de beneficios para las diversas ramas de la Ingeniería relacionadas con la construcción del complejo. Así, con las coordenadas obtenidas se podrán coordinar con mayor facilidad funciones como:

1. Recopilar, procesar y almacenar datos relacionados con las plantas.
2. Generar proyectos sistemáticos a partir de dicha información.

3. Proporcionar apoyo de información multidisciplinaria.
4. Documentar y asesorar a compañías constructoras.
5. Mantener un control actualizado de avance en construcción.

Para cumplir con los propósitos básicos de la red de control horizontal, debe hacerse y mantenerse con dos requerimientos en mente: la precisión del control debe ser superior a los levantamientos existentes e, igualmente importante, un control adicional debe estar siempre al alcance del usuario cuándo y dónde sea necesario.

Lo anterior se dará cuando la información sea del dominio común, desde los técnicos hasta los máximos niveles donde se toman las más altas decisiones ejecutivas para apoyar las inversiones y asegurar el progreso en muchos de los ámbitos del desarrollo socioeconómico nacional.

CAPITULO 2

PROYECTO DE LA RED

2.1 Anteproyecto

En la etapa del anteproyecto se establecen las condiciones geométricas, técnicas, económicas y de factibilidad que permitan la elaboración del diseño de la red de trilateración. El anteproyecto está íntimamente ligado al preanálisis de la precisión, el cual, deberá tomar en cuenta factores ligados con la exactitud requerida, disponibilidad de equipo, material, personal y demás facilidades, de manera que se optimice el anteproyecto. Es por ello que se debe ejercer un mayor cuidado por mantener la regularidad de las figuras ya que, para satisfacer los requisitos de precisión se depende mucho del condicionamiento geométrico, así como de la cantidad de observaciones redundantes.

Para la conformación de la red principal, los vértices deben ser ubicados de manera que se satisfagan las siguientes condiciones:

2.1.1 Cubrir toda el área de las plantas de proceso, distribuyendo proporcionalmente todos los vértices.

La distribución de todos los vértices ofrece la ventaja de poder extender la red lateralmente o densificarla dentro de la red existente y directamente desde los vértices principales. Las figuras relativamente grandes exigen el fraccionamiento de la red antes de poder iniciarse el trabajo detallado (fig. 4).

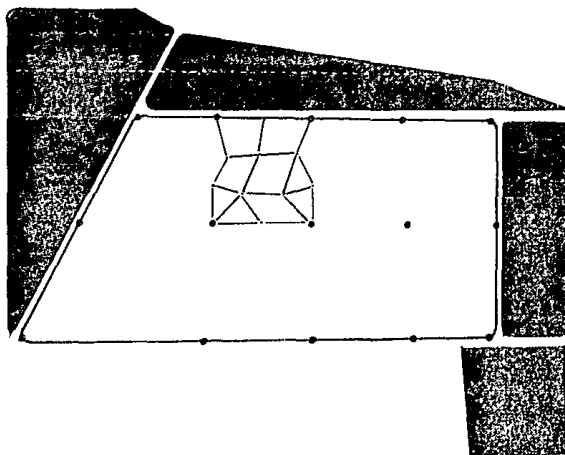


fig. 4 Modelo ideal de la ubicación y densificación de los vértices de la red.

2.1.2 Uniformidad en las longitudes.

La uniformidad en las longitudes de las líneas proporciona

un factor compensador para los errores de observación accidentales, que de otra manera no se obtiene. En la práctica, una sola figura de líneas largas podrá causar errores imposibles de ser compensados.

Usando líneas relativamente cortas, el progreso es mayor que cuando se emplean líneas largas, en un momento se pensaría que usando pequeñas figuras el trabajo de campo sería demorado debido al mayor número de estaciones, en realidad resulta lo contrario, en el complejo existe una considerable cantidad de polvo, humo, niebla o una combinación de éstos elementos que dificultarían la observación de estaciones a distancias grandes.

2.1.3 Permitan vincularla a los linderos y a otros levantamientos.

El progreso industrial requiere numerosos proyectos de levantamientos locales que, frecuentemente preceden al control local fundamental, cuando el control horizontal es efectuado en tales áreas, es preciso tener cuidado y buen criterio con objeto de coordinar todos los levantamientos existentes con el esqueleto básico (fig. 5).

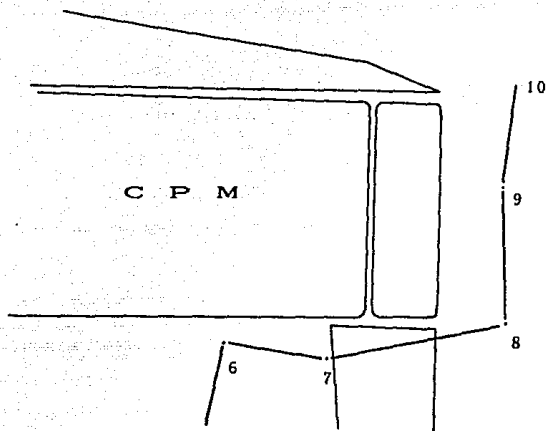


fig. 5 Siempre que sea posible, ubicar los vértices cerca de los límites de propiedad para vincularlos a otros levantamientos, ya sean de mayor o menor precisión.

2.1.4 Formar figuras rígidas.

Las figuras geométricas utilizadas en la trilateración, aunque no están estandarizadas, son similares a las empleadas en la triangulación. sin embargo, las figuras delgadas son menos rígidas en dirección transversal a su mayor dimensión. Por lo tanto, las redes que cubren áreas esencialmente cuadradas dan mejores resultados puesto que proporcionan una precisión uniforme total más confiable.

Se sabe que las figuras admisibles para conformar las redes son principalmente cuadriláteros con diagonales (fig. 6a), hexágonos con punto central con todas las diagonales posibles (fig. 6b), y el doble cuadrilátero con todas las diagonales posibles (fig. 6c).

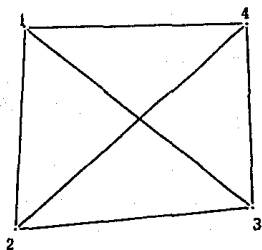


fig. 6a

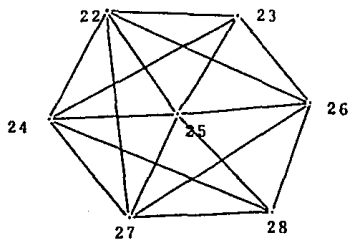


fig. 6b

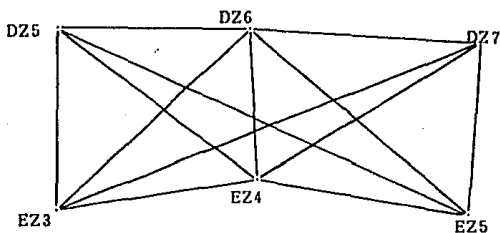


fig. 6c

fig. 6 Figuras empleadas en trilateración.

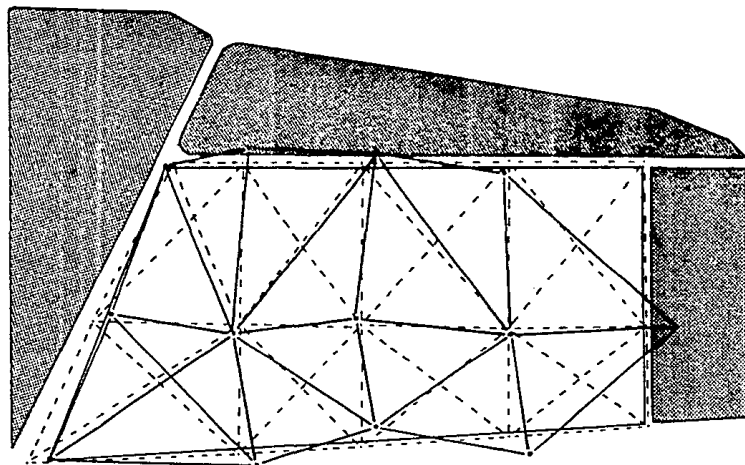
Los triángulos simples son empleados en casos muy especiales, como compensar las grandes variaciones en longitud, en un cambio brusco en la dirección de la red o para el cierre de una red. En la figura 7 se muestra el diseño preliminar.

2.2 Reconocimiento

El reconocimiento consiste en el estudio de campo y gabinete, el cual tiene por objeto, discernir de una serie de alternativas, todas igualmente posibles, la solución más práctica y económica de obtener la red de puntos de control, así, con el reconocimiento de campo se confirma o se modifica el diseño preliminar y se decide la ubicación exacta y tipo de marcación de cada vértice. Se observa que los vértices del anteproyecto situados sobre las avenidas tenían una pobre intervisibilidad con los demás vértices, por lo que se optó por establecerlos sobre las construcciones existentes, logrando con esto mayor intervisibilidad, asimismo se evitaron líneas rasantes a instalaciones con lo que se da mayor protección a la visual, etc.

Debido a las chimeneas, hornos de pirólisis, torres de enfriamiento, almacenamientos y otras estructuras de gran altura fué imposible lograr la visibilidad de algunas diagonales de los cuadriláteros planteados en el anteproyecto.

MICROTRILATERACION



--- ANTEPROYECTO
— PROYECTO FINAL

Fig. 7 Diseño preliminar de la red.

2.3 Preanálisis de la precisión

El preanálisis de medidas topográficas es una técnica que permite evaluar las componentes de una medición para establecer proyectos y así determinar la cantidad de medidas que se deben hacer, las tolerancias aceptables, la selección de instrumentos adecuados y, la metodología de las mediciones, incluyendo las consideraciones sobre factores ambientales, de modo que sea óptimo el diseño final y se apogee a las normas establecidas por PEMEX.

Por lo que respecta a las normas técnicas para levantamientos de apoyo y en particular para el apoyo horizontal en el CPM, PEMEX no cuenta con normas suficientes para el establecimiento del control horizontal de precisión. Es por ello que nos basaremos en las normas técnicas publicadas por la Dirección de Geografía de la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) en el Diario Oficial de la Federación con fecha del 10. de abril de 1985. Cabe señalar que las normas con que cuenta el CPM están dirigidas particularmente para el trazo y nivelación de la obra civil, la norma D.09.d es la única existente para levantamientos de precisión en el apoyo horizontal.

D.09.d Levantamiento para trabajos de precisión en ciudades y levantamientos especialmente importantes.
Ángulos repetidos 3 veces como mínimo si el aparato aproxima medio minuto y en ambos casos tomando cada

lectura como el promedio de las lecturas en los 2 verniers; visuales tomadas a señales plomeadas, tensando la cinta de 4 a 5 kg. por cada 20 m. de cinta, la temperatura de la cinta observada con aproximación de 2 a 3°C y corrigiendo las medidas por este concepto.

	Angular	15" a $20''\sqrt{n}$
Tolerancias	Lineal	1/10,000

En todos los casos se considera que la totalidad de los ángulos y lados se miden directamente.

De entre las normas técnicas publicadas por la Dirección General de Geografía indicaremos las más importantes para la realización del presente trabajo.

XI Levantamientos geodésicos horizontales.

Se define como levantamiento geodésico horizontal al conjunto de procedimientos y operaciones de campo y gabinete destinado a determinar las coordenadas geodésicas de puntos sobre el terreno convenientemente elegidos

11.1 Todo levantamiento geodésico deberá hacerse siguiendo una secuencia operativa que en el orden indicado contemple las siguientes etapas:

- a) Diseño y pre-análisis.
- b) Reconocimiento y monumentación.
- c) Observaciones y cálculos de campo.
- d) Cálculos de gabinete (y ajuste en su caso).
- e) Evaluación.
- f) Memorias de trabajos.

XI.1 Para levantamientos geodésicos horizontales se podrán utilizar los métodos que se enlistan a continuación, o sus combinaciones. La selección de cualquiera de ellos, cuando sea posible optar entre dos o más, deberá estar ligada a consideraciones económicas y a su capacidad relativa para producir los resultados esperados, los que deben formar parte de los criterios contemplados en el preanálisis y diseño del anteproyecto:

- Triangulación

- Trilateración
- Triangulateración
- Poligonación
- Observación de Satélites Doppler
- Método Astronómico
- Método Inercial

Para efectos comparativos e independientemente de las definiciones que se dan en forma específica para cada método en las partes conducentes de éste documento.

XI.4 Trilateración

Se entenderá como trilateración al método de levantamiento geodésico horizontal consistente en un conjunto de figuras, conformadas por triángulos interconectados en los que se miden las distancias y algunos ángulos, conformando una cadena o cubriendo un área específica, con el propósito último de determinar las coordenadas de los vértices de los triángulos.

XI.4.5 En sistemas de trilateración, la cantidad de observaciones redundantes debe ser por lo menos del 60%

XI.4.6 No se deberán usar triángulos simples a lo largo de una cadena de trilateración, excepto cuando se vayan a hacer ligas a puntos de otros levantamientos a lo largo del recorrido, se observen azimutes durante el desarrollo y nunca para trilateraciones de orden superior al tercero.

XI.4.7 En proyectos de trilateración, la figura básica deberá ser un hexágono regular o un doble cuadrilátero con todos los lados y diagonales medidos. Se podrán utilizar cuadriláteros con dos diagonales, aproximadamente cuadrados, en los que los ángulos envueltos no sean menores que 30°.

XI.4.24 El error medio cuadrático del promedio en la medida de distancia no deberá rebasar los valores indicados en la tabla (XI.8), aplicables a medidas corregidas por cada fuente conocida de error sistemático.

ORDEN DE LA TRILATERACION	ERROR MEDIO CUADRATICO DEL PROMEDIO
PRIMERO	1:1000,000
SEGUNDO, CLASE I	1: 750,000
SEGUNDO, CLASE II	1: 450,000
TERCERO, CLASE I	1: 250,000
TERCERO, CLASE II	1: 150,000

TABLA XI.8 Especificaciones para medida de distancias en trilateración.

XI.4.25 La tolerancia entre dos medidas pertenecientes a un grupo se calculará mediante la expresión

$$T = \pm (a + bS)$$

En la que S es la distancia medida y a y b son parámetros instrumentales proporcionados por el fabricante.

XI.4.29 En cuanto al número de determinaciones de ángulos verticales por juego, las tolerancias entre determinaciones y entre medidas recíprocas, se deberán observar las especificaciones dadas en la tabla XI.7 de estas normas, excepto para los dos primeros ordenes se aumenta en uno el número de determinaciones por juego.

CONCEPTO	ORDEN DE LA TRIANGULACION				
	1°	2°CI	2°CII	3°CI	3°CII
No. de figuras entre elevaciones conocidas	4a6	6a8	8a10	10a15	15a20
Determinaciones por juego	4	4	3	3	3
Tolerancia entre determinaciones	±3"	±3"	±3"	±5"	±5"
Tolerancia entre medidas recíprocas	10"	10"	10"	10"	20"

TABLA XI.7 Especificaciones para nivelación trigonométrica en triangulación, trilateración y poligonales.

Por otra parte tenemos que, para lograr la precisión mínima en los requerimientos anteriores, nos auxiliaremos en las leyes de la probabilidad.

La DISTRIBUCION NORMAL, a diferencia de las demás distribuciones es de fundamental importancia referente a la

teoría de la probabilidad aplicada a la ciencia, tecnología y a la industria, se usa como modelo básico para todas las medidas físicas, incluye por supuesto, las mediciones topográficas.

Se dice que una variable aleatoria x tiene distribución normal si su función Densidad de Probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < +\infty \text{ Ec. (1)}$$

donde

μ : es la media o centroide de la distribución de probabilidad, también llamada Valor más Probable.

σ : es la desviación estándar o grado de dispersión de las medidas.

$$\pi = 3.141592654$$

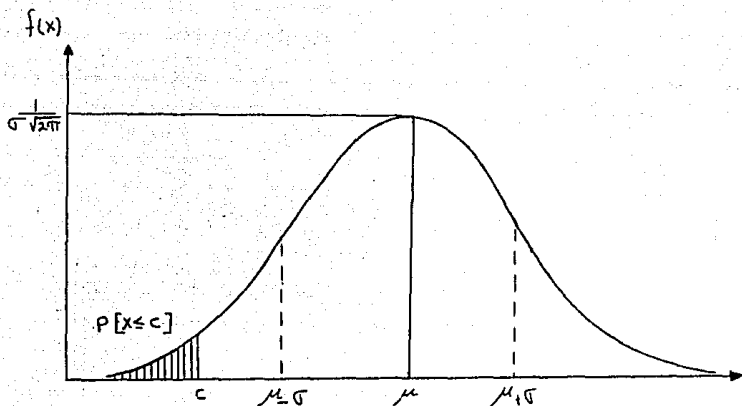
$$e = 2.718281828$$

La función de distribución de la distribución normal está dada por:

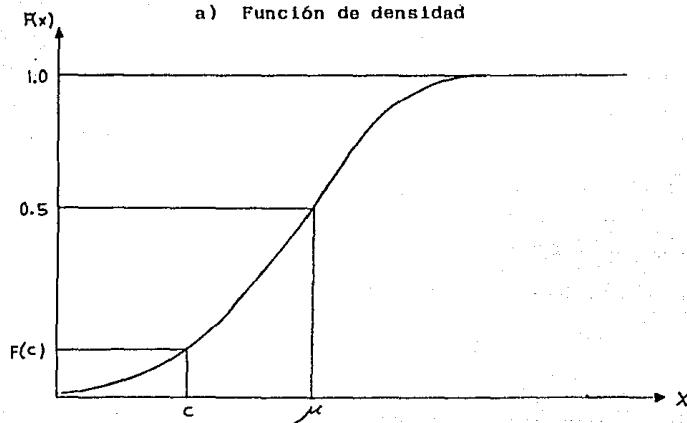
$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(u) du = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}} du \text{ Ec. (2)}$$

Estas dos funciones se representan gráficamente en la figura 8. Es claro, en la figura 8a que la distribución normal es simétrica con respecto a μ , los puntos de inflexión se localizan en $X = \mu - \sigma$ y $X = \mu + \sigma$. La densidad máxima de la función ocurre cuando $X = \mu$.

Si X es una variable aleatoria con distribución normal, o cercana a ella, la probabilidad de que X sea menor o igual que



a) Función de densidad



b) Función de distribución

Fig. 8 DISTRIBUCION NORMAL

C, se representa por el área sombreada (fig. 8 a) y por la ordenada $F(C)$, fig. 8 b.

Ahora, la precisión de una medida se refiere al grado de cercanía o a la capacidad de repetir medidas de una misma cantidad. De acuerdo al significado de precisión, la tendencia de la distribución de probabilidad de una medida, o su componente de error aleatorio, es un indicador de la precisión de las medidas. Una tendencia pequeña de dispersión nos indica una alta precisión; una tendencia grande de dispersión de datos nos indica una baja precisión. Para visualizar mejor lo anterior, analicemos la figura siguiente:

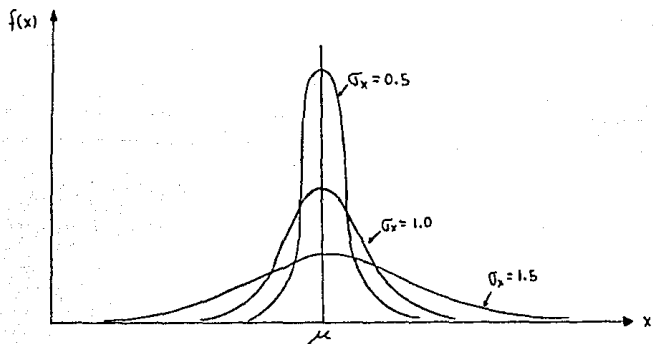


Fig. 9 Diferentes precisiones en las medidas

En el análisis de la precisión se requiere fijar una medida de dispersión mínima, esto se logra por medio de la desviación estándar (σ). En la figura podemos apreciar que $\sigma_x = 0.5$ es la desviación estándar de una medida altamente precisa, mientras que $\sigma_x = 1.5$ es la desviación estándar de una medida de

muy baja precisión.

Aplicando la ec.(2), la probabilidad de que una medida X esté comprendida entre $\mu - \sigma$ y $\mu + \sigma$ está dada por:

$$P\{\mu - \sigma < X < \mu + \sigma\} = \int_{\mu - \sigma}^{\mu + \sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

para estandarizar la variable aleatoria x se iguala:

$$\mu = 0 \qquad \sigma = 1 \qquad Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

por lo tanto

$$P\{\mu - \sigma < X < \mu + \sigma\} = P\left\{\frac{(\mu - \sigma) - \mu}{\sigma} < \frac{X - \mu}{\sigma} < \frac{(\mu + \sigma) - \mu}{\sigma}\right\}$$

haciendo operaciones

$$\begin{aligned} P\{\mu - \sigma < X < \mu + \sigma\} &= -1 < Z < 1 \\ &= Z(1) - Z(-1) \end{aligned}$$

buscando valores para $Z = 1$ y $Z = -1$ en la tabla de probabilidad para la distribución normal estandarizada tenemos:

$$\begin{aligned} P\{\mu - \sigma < X < \mu + \sigma\} &= 0.8413 - 0.1587 \\ &= 0.6826 \end{aligned}$$

lo que significa que el área sombreada (fig. 10) nos representa el 0.6826 del área total bajo la curva de la función de densidad.

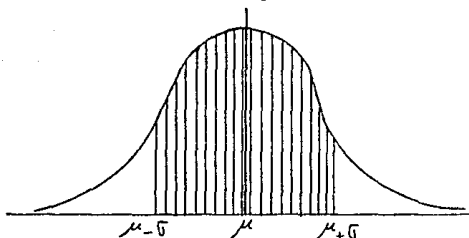


Fig. 10 Nivel de confianza en la función de densidad.

Si multiplicamos a la desviación estándar por K nos dará otra forma de interpretar una medida de precisión llamada NIVEL DE CONFIANZA, por lo que, la probabilidad de que una medida esté entre

$$\mu - K\sigma \text{ y } \mu + K\sigma$$

es

$$P\{\mu - K\sigma < x < \mu + K\sigma\} = \int dx$$

estandarizando a x tenemos

$$\begin{aligned} P\{\mu - K\sigma < x < \mu + K\sigma\} &= P\{-K < Z < K\} \\ &= Z(K) - Z(-K) \end{aligned}$$

por simetría

$$P\{\mu - K\sigma < x < \mu + K\sigma\} = 2 Z(K) - 1$$

Con esto se determinan los límites dentro de los cuales debe esperarse caigan el $(2 Z(K) - 1)$ 100% de las medidas. Para nuestro caso las normas nos indican una precisión mayor que 1 : 250,000 con un nivel de confianza del 95%.

realizando operaciones

$$P\{\mu - K\sigma < x < \mu + K\sigma\} = 2 Z(K) - 1$$

$$0.9500 = 2 Z(K) - 1$$

$$Z(K) = (0.9500 + 1) / 2$$

$$Z(K) = 0.9750$$

buscando el complemento de $Z(K)$ en las tablas

si

$$Z(K) = 0.9750$$

$$K = 1.960$$

en otras palabras, tomando $K = 1.960$ se obtiene la cantidad 95% que es el nivel de confianza deseado de ese caso.

A continuación se da una tabla para garantizar diferentes niveles de confianza

NIVEL DE CONFIANZA	$P(\mu - K\sigma < x < \mu + K\sigma)$	K	Z (K)
50.0 %	0.500	0.674	0.7500
68.3 %	0.683	1.000	0.8413
90.0 %	0.900	1.645	0.9500
95.0 %	0.950	1.960	0.9750
95.4 %	0.954	2.000	0.9772
99.0 %	0.990	2.576	0.9950
99.7 %	0.997	3.000	0.9987

Por otra parte tenemos que la desviación estándar del distanciómetro REDIA está dada por

$$\sigma = (a + (bS))^{1/2}$$

o en una forma simplificada

$$\sigma^2 = \pm a \pm bS$$

donde

a y b : son parámetros indicados por el fabricante

S : es la distancia inclinada

en el que

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$b = 5 \text{ ppm}$$

ahora, para una distancia promedio en el anteproyecto de 600 m tenemos

$$\sigma = \sqrt{(0.005)^2 + \{(5 \times 10^{-9})(600 \times 1000)\}^2} = 0.00583$$

si realizamos una sola vez la observación, se tiene

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.00583}{\sqrt{1}} = 0.00583$$

por lo que la precisión para una distancia de 600 m observada una sola vez es:

$$p = \frac{1}{\frac{d}{\sigma_0}} = \frac{1}{\frac{600}{0.00583}} = \frac{1}{102,899}$$

si deseamos obtener una precisión mayor a 1 : 250,000 el mínimo de observaciones a realizar será de

$$n = \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^2 = \left(\frac{1}{\frac{102,899}{250,000}} \right)^2 = 5.9 \approx 6$$

Para efectos del diseño de la red de trilateración se consideran las normas anteriormente mencionadas y, aunado al equipo y personal proporcionado por PEMEX nos permite el diseño con una calidad de una red de 3er. Orden, Clase I .

El equipo proporcionado por PEMEX es el siguiente :

DISTANCIOMETRO ELECTRONICO (EDM)

Características

Marca	Sokkisha
Modelo	REDIA
Onda portadora	Radiación infrarroja invisible $\lambda = 0.900 \text{ nm.}$
Alcance	Prisma individual 1600 m. Prisma triple hasta 2500 m.
Desviación Estándar	$\pm (5 \text{ mm} + 5 \times 10^{-6} \times D)$ en 10° a -40°C
Tiempo de medición	Menos de 6 segundos
Dimensiones	160 x 90 x 180 mm.
Peso	3.5 Kg. c/batería incorporada

TEODOLITO

Marca	Karl Zeiss
Modelo	thEO-010
Tipo de lectura	Micro-óptico
Estimación	Lectura horizontal 1" Lectura vertical 1"
Aumento	30 X
Imagen	Erecta

Distancia mínima de
enfoque

1.5 m.

Peso

6.0 Kg.

EQUIPO ADICIONAL

Altimetro

Termómetro

Transporte

Material para monumentación

CAPITULO 3

MONUMENTACION DE PUNTOS DE CONTROL

3.1 Ubicación de los puntos de control.

La ubicación de los puntos de control en el CPM se realiza generalmente sobre el terreno y azoteas ya que, al ubicarlos se debe garantizar la estabilidad y permanencia de las marcas, la intervisibilidad con otros puntos y el acceso al mismo.

Al ubicar vértices sobre el terreno, éstos están sujetos a la destrucción durante la reconstrucción de calles y estructuras. la intervisibilidad entre los puntos de control monumentados sobre el terreno se pierde a menudo por las nuevas edificaciones que se construyen a lo largo de las visuales, o se obstruyen temporalmente por maquinaria o material estacionario, ocasionando demoras en los levantamientos subsecuentes.

Algunos de estos problemas se solucionan situando los vértices sobre las azoteas de las construcciones permanentes. Aunque el acceso y los levantamientos posteriores pueden resultar un problema, los vértices en azoteas son indispensables para obtener mayor intervisibilidad en áreas de construcción. Los instrumentos EDM resuelven parcialmente los problemas de levantamientos posteriores.

3.2 Tipos de monumentación.

En el CPM se observa que el terreno está sometido a constantes cambios debido a la construcción de obras, es por ello que la marcación de vértices se torna más difícil. En la microtrilateración los vértices localizados sobre terreno natural están marcados por medio de pequeñas mojoneras y en los lugares en que la construcción de obras está prácticamente terminada se realizó la marcación sobre el concreto por medio de un cincel y en algunos casos se limitó sólo a buscar un detalle sobresaliente de la construcción para tomarlo como vértice. En la Tabla 2 se indica el tipo de marca de cada uno de los 13 vértices de la red. Se puede observar que las señales sobre la calle no eran posible fijarlas sino en la acera por la gran cantidad de tuberías y ductos que pasan bajo el arroyo.

La mayoría de los vértices están pintados de color negro mate anticorrosivo para su pronta localización.

En el plano 2 de localización general, se muestra la ubicación de cada uno de los vértices que conforman la red, así como la numeración fija que tendrán estos vértices.

TABLA 2


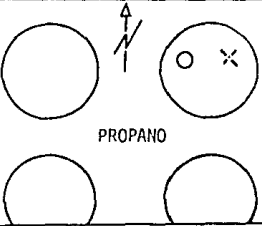

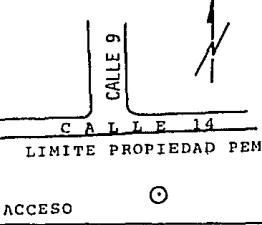

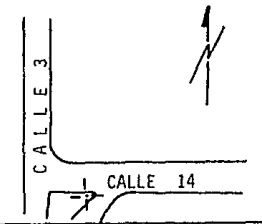
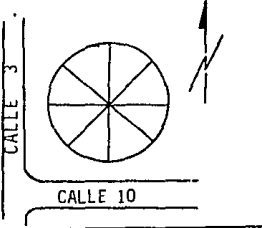
VERTICE	UBICACION	TIPO DE MARCA	CROQUIS DE LOCALIZACION
1	Sobre esfera NE de almacenamiento de propano, calles 9 y 10 MZ. 37	Detalle de color negro 	 PROPANO
2	Sobre el acceso de la parte sur, exterior al complejo, calles 9 y 14	Mojonera 	 LIMITE PROPIEDAD PEMEX ACCESO
3	Sobre la guarnición de la barda perimetral, calles 3 y 14	Rebajo de concreto, de color negro 	
4	Sobre la estructura de la dosificadora, calles 3 y 10 MZ. 20	Al centro del diseño de la parte superior	

TABLA 2 (continuación)


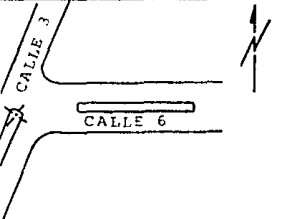

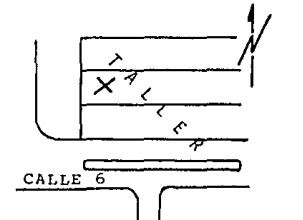

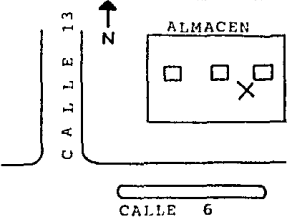

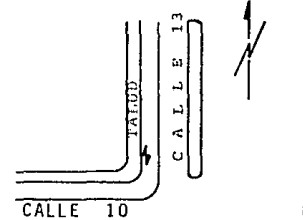
VERTICE	UBICACION	TIPO DE MARCA	CROQUIS DE LOCALIZACION
5	Guarnición de la barda perimetral calles 3 y 6	Rebaje de concreto, de color negro 	
6	Sobre azotea del taller de mantenimiento de obra civil calles 6 y 9	Rebaje de material aislante 	
7	Sobre azotea del almacén de refacciones, calles 6 y 13	Rebaje de material aislante 	
8	Sobre la banqueta, calle 13 y 10 MZ. 30	Rebaje de concreto color negro 	

TABLA 2 (continuación)

VERTICE	UBICACION	TIPO DE MARCA	CROQUIS DE LOCALIZACION
9	Sobre un monticulo calles 13 y 14 MZ. 49	Varilla de aproximadamente 40 cm.	
10	Sobre una loma, fuera del complejo, calles 17 y 14	Mojonera 	
11	Sobre concreto rugoso, bajo la soporteria calles 12 y 17	Marca sobre el suelo 	
12	Sobre guarnición calles 6 y 17 MZ. 23	Rebaje de concreto 	

TABLA 2 (continuación)

VERTICE	UBICACION	TIPO DE MARCA	CROQUIS DE LOCALIZACION
13	Sobre un monticulo sobresaliente, prolongación calle 10	Mojonera ⊙	

CAPITULO 4

MEDICION ELECTRONICA DE DISTANCIAS (E D M)

4.1 Características del EDM

A partir de 1950 fueron desarrollados varios sistemas electrónicos con el propósito de medir distancias con base en la velocidad de las ondas electromagnéticas ($299,792.46 \pm 0.4$ Km/s). La invención del geodimetro marcó un avance importante en la instrumentación topográfica.

Todos los instrumentos electrónicos para medir distancias, también conocidos como EDM (Electronic Distance Measurement) se basan en el mismo principio de medición. Para medir distancias, el EDM consta de un transmisor receptor de luz, el cual se instala en un extremo de la línea y un reflector el cual se coloca en el otro extremo de la línea. Una señal modulada es transmitida continuamente desde el transmisor receptor (fig.12) y es reflejada o retransmitida de regreso por el reflector.

La diferencia de fase entre la referencia (transmitida) y la señal modulada que retorna se mide en el aparato transmisor.

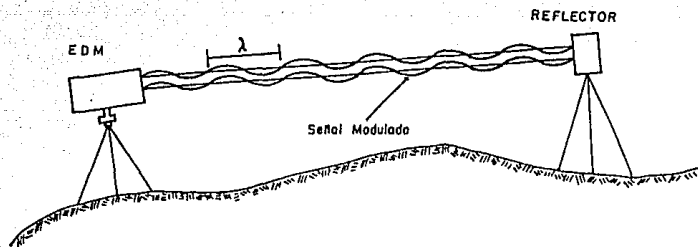


Fig. 12 Medición electrónica de distancias.

A partir de los años setentas, comenzaron a realizarse trabajos de geodesia aplicada a la ingeniería, utilizando geodímetros como el MCD IM de 500 m. de alcance. La necesidad de mejorar los distanciómetros existentes surgió, debido al insuficiente radio de acción, sobre todo cuando la visibilidad es mala a causa de la niebla, el polvo, las condiciones atmosféricas y otros factores existentes en toda área constructiva.

Actualmente existe una gran variedad de instrumentos EDM, de diferentes marcas, modelos y ondas de transmisión, adecuados para cada tipo de trabajo, atendiendo a la longitud de la línea y la precisión requerida.

El desarrollo ulterior de los EDM condujo a la producción de aditamentos teodolíticos, cómodos para su uso: AGA-12 de Suecia (fig.13), Eldl 2 de la RFA (fig.14) y el REDIA de Japón, siendo éste último el utilizado para el desarrollo del presente trabajo.

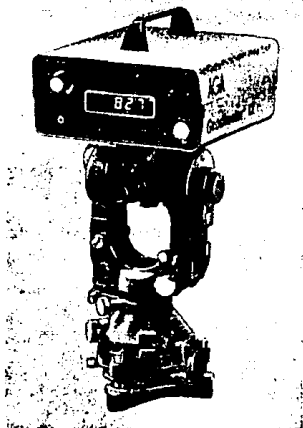


fig. 13 Distanziómetro AGA-12

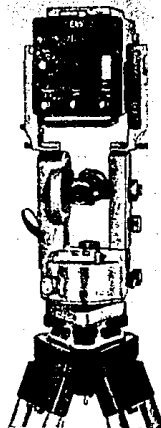


fig. 14 Distanziómetro
Eldl 2

El distanziómetro REDIA (fig. 15) de la marca japonesa Sokkisha funciona en base a un emisor de luz infrarroja, cuya longitud de onda es de $\lambda = 0.9 \mu\text{m}$, siendo éste un diodo de Iridio y Galio. La orientación aproximada hacia el reflector se hace por medio del telescopio del teodolito para después

ajustarse por el objetivo del distanciómetro. Una mejor orientación se puede lograr a través del dispositivo sonoro o del galvanómetro, en donde el máximo de luz corresponde al sonido más agudo y, en éste caso el índice (la aguja del galvanómetro) se desvia maximamente a la derecha. En el tablero surgen 7 cifras significativas.

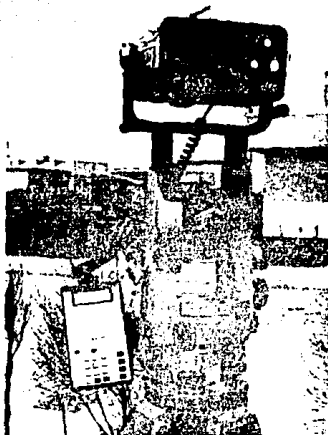


fig. 15 Distanciómetro REDIA y Teodolito Theo-010A

El reflector está constituido por tres prismas triples (fig. 16) para distancias de hasta 1700 m. Con el fin de instalar el EDM sobre un teodolito, existen dispositivos especiales para el Theo 010A, el Wild T-2, etc. Antes de

colocar el EDM se deben verificar los planos horizontal y vertical del teodolito. El REDIA es alimentado por una batería de 6 V; la potencia requerida es de 17 W. El aparato es portátil y tiene pequeñas dimensiones exteriores (160x96x180 mm) y un peso de 3.5 Kg. con la batería incorporada.



fig.16 Reflector

4.2 Metodología de la medición.

Para la medición de los lados de la red con el EDM se presenta un plan de trabajo óptimo que asegura la precisión requerida con gastos mínimos de tiempo y de recursos al trabajar. La medición de las líneas que conforman la red se realizaron manteniendo el siguiente orden:

1. Traslado al vértice con mayor convergencia de líneas por medir, esto es, se busca el vértice adecuado para centrar el EDM y sólo trasladar el reflector de un vértice a otro.
2. Traslado del reflector y del personal al otro extremo de la línea.
3. Centrar y nivelar el teodolito, colocación del EDM sobre el teodolito, verificar nuevamente el contrado y nivelado del teodolito, colocar el termómetro y el barómetro en el lugar adecuado.
4. Una vez colocado el EDM y el reflector se procede a medir los ángulos verticales, realizando un total de 3 juegos de lecturas.
5. Posteriormente se realiza la medición de la línea siguiendo las instrucciones indicadas en el punto 4.1 .
6. Se toma la lectura del termómetro y del barómetro.
7. Se repite el procedimiento a partir del punto 3. con el objeto de obtener la distancia por doble altura de aparato, terminando así la medición de la línea.
8. Transportar el reflector al siguiente vértice, centrarlo y nivelarlo para comenzar de nuevo el procedimiento hasta terminar de medir la totalidad de las líneas.

Es lógico pensar que ésta metodología no es de carácter universal, sino que cada plan de trabajo se acondiciona al número de personal, el tipo de instrumentos, el método de levantamiento, la forma de la red, etc.

4.3 Correcciones a las observaciones.

Las condiciones de la atmósfera que afectan a la velocidad de propagación de la luz son: la temperatura del aire, la presión atmosférica y la humedad relativa. La temperatura y la humedad relativa a su vez, definen la presión de vapor en la atmósfera. Prácticamente para todas las mediciones de distancias por medio de ondas de luz, la presión de vapor puede ser eliminada, ya que la humedad relativa tiene muy poco efecto en la propagación de las ondas de luz.

La mayoría de los instrumentos EDM recientes, y en particular el REDIA, están diseñados para dar una corrección de 0 ppm a una presión atmosférica de 760 mm Hg y a una temperatura de 15°C.

Debido a los cambios en las condiciones atmosféricas y a la apreciación de los valores proporcionados en las tablas de corrección, se optó por introducir una corrección de 0 ppm y realizar las correcciones por medio de las fórmulas de Barrel y Sears

$$n_g = 1 + 287.604 \frac{P}{T^2} + 0.068 \times 10^{-6} \frac{P}{T}$$

$$n_a = 1 + \frac{0.359474(n_g - 1)P}{273.2 + T}$$

CAPITULO 5

CALCULOS DE GABINETE

La compensación de las observaciones, que es necesaria antes de calcularse los valores definitivos de las coordenadas deberá realizarse mediante un método riguroso como el método paramétrico de los mínimos cuadrados, el cual nos permite un análisis estadístico completo de la precisión de la red. A la compensación de la red, se plantean serias exigencias dado que ésta es de clase superior y sirve de apoyo para levantamientos menores.

Como resultado del ajuste se deben obtener los valores más exactos posibles de todos sus elementos y se eliminará en grado sumo la influencia de los errores sistemáticos. Por supuesto, la calidad y exactitud de la red depende en primer lugar de la calidad de las mediciones de campo.

5.1 Principio matemático

Las ecuaciones que relacionan las incógnitas con las

observaciones y sus correspondientes errores, se conocen como Ecuaciones de Observación. Estas ecuaciones corresponden a un modelo matemático establecido de antemano para indicar el tipo de relación entre incógnitas y observaciones.

Generalmente se escriben m ecuaciones de este tipo; una por cada observación que se tenga. En nuestro problema tenemos que el número de ecuaciones es mayor que el número de incógnitas ($m > n$), entonces el modelo matemático es sobre-determinado y tiene más de una solución. Para contar con una solución única, se requiere del ajuste del modelo matemático.

Sabemos que un sistema de ecuaciones de observación tiene la forma siguiente:

$$\begin{array}{r}
 a_1 X_1 + b_1 X_2 + c_1 X_3 + \dots + n_1 X_n = l_1 + v_1 \\
 a_2 X_1 + b_2 X_2 + c_2 X_3 + \dots + n_2 X_n = l_2 + v_2 \\
 a_3 X_1 + b_3 X_2 + c_3 X_3 + \dots + n_3 X_n = l_3 + v_3 \\
 \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
 \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
 \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\
 a_m X_1 + b_m X_2 + c_m X_3 + \dots + n_m X_n = l_m + v_m
 \end{array}$$

en la que

- l_1, l_2, \dots, l_m son magnitudes observadas
- a, b, \dots, n coeficientes conocidos
- X_1, X_2, \dots, X_n incógnitas por determinar y,
- v_1, v_2, \dots, v_m los errores más probables

El sistema anterior puede escribirse matricialmente como:

$$A \quad X = L + V$$
$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & \dots & n_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & \dots & n_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & \dots & n_3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & b_m & c_m & \dots & n_m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ \dots \\ l_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \dots \\ v_m \end{bmatrix}$$

donde

A = Matriz coeficiente de m filas y n columnas

X = Vector de n incógnitas

L = Vector de m observaciones

V = Vector de m discrepancias

El modelo matemático anterior se emplea sólo para casos de ajuste lineal. El problema que nos ocupa, contiene numerosas ecuaciones de observación no lineales, en este caso el modelo matemático se establece como sigue:

$$L = f (X)$$

o sea

$$L = f (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

donde

L ---> son las observaciones

X_n ---> las incógnitas

para linealizar el modelo utilicemos la serie de Taylor

$$L = F(X^0) + \left. \frac{\partial F}{\partial X} \right|_{X=X^0} (X - X^0) + \text{términos de mayor grado}$$

donde X^0 nos indica valores preliminares para el vector de incógnitas, de modo que el vector X será:

$$\begin{aligned} X &= X^0 + (X - X^0) \\ &= X^0 + \Delta X \end{aligned}$$

y por lo tanto

$$L - F (X^0) = \Delta L$$

así

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X} \right|_{X=X^0}$$

En la relación anterior A nos representa a la matriz de coeficientes, evaluada para las ecuaciones parciales de las incógnitas $X = X^0$, de ésta manera el modelo matemático queda representado por

$$L - F(X^0) = \left. \frac{dF}{dX} \right|_{X=X^0} (X - X^0)$$

esto es

$$\Delta L = A \cdot \Delta X$$

así, el modelo matemático se resuelve por las correcciones ΔX que se le deben hacer al vector X^0 para obtener X . Dado que las observaciones de las distancias de trilateración tienen diferente peso, las Ecuaciones de Observación Pesadas se representa en el modelo como:

$$P V = P (A \cdot \Delta X - \Delta L)$$

así, la forma cuadrática pesada a minimizar queda reformulada por

$$\begin{aligned} V^T P V &= [(A \cdot \Delta X - \Delta L)^T P (A \cdot \Delta X - \Delta L)] \\ &= [(\Delta X^T A^T) - \Delta L^T] [P \cdot A \cdot \Delta X - P \cdot \Delta L] \\ &= \Delta X^T A^T P \cdot A \cdot \Delta X - \Delta X^T A^T P \Delta L - \Delta L^T P \cdot A \Delta X + \Delta L^T P \Delta L \end{aligned}$$

como $P = P^T$

entonces

$$\Delta X^T \cdot A^T \cdot P \cdot \Delta L = \Delta L^T \cdot P \cdot A \Delta X$$

la forma cuadrática

$$V^T P \cdot V = \Delta X^T A^T P \cdot A \cdot \Delta X - 2 \Delta L^T P \cdot A \cdot \Delta X + \Delta L^T P \Delta L$$

minimizada es:

$$\frac{d(V^T P \cdot V)}{d \Delta X} = 2 \cdot \Delta X^T A^T P \cdot A - 2 \cdot \Delta L^T P \cdot A = 0$$

La solución del sistema de ecuaciones normales provenientes de la minimización anterior se establece por

$$\Delta X^T A^T P \cdot A = \Delta L^T P \cdot A$$

trasponiendo se forman las Ecuaciones Normales

$$A^T P \cdot A \cdot \Delta X = A^T P \cdot \Delta L$$

así, la solución para el sistema anterior es:

$$\Delta \bar{X} = (A^T P \cdot A)^{-1} A^T P \cdot \Delta L$$

el vector incógnitas

$$\bar{X} = X^0 + \Delta \bar{X}$$

los residuos

$$\bar{V} = A \cdot \Delta \bar{X} - \Delta L$$

y las observaciones compensadas

$$\bar{L} = L + \bar{V}$$

El valor aproximado X^0 para las incógnitas se obtiene primero de una de las múltiples soluciones que tiene, pero si las correcciones ΔX son relativamente grandes, entonces es recomendable repetir todo el proceso de ajuste (iterar la solución), para lo cual el valor \bar{X} obtenido se convierte en el nuevo valor para X^0 y \bar{L} lo será para L . El proceso iterativo se realiza tantas veces como sea necesario, hasta que las correcciones ΔX se vuelvan despreciables.

Resumiendo, el ajuste se realiza bajo los siguientes pasos

1.- Cálculo de las coordenadas aproximadas de los nuevos puntos, usando algunas de las observaciones de campo y el método de cálculo más simple posible, por ejemplo una intersección angular, un método polar o una poligonal.

2.- Cálculo de los valores de L aproximados para las observaciones usando las coordenadas del paso 1.

3.- Cálculo de los elementos de la matriz ΔL .

4.- Cálculo de los coeficientes de las ecuaciones de observación (matriz A), usando coordenadas aproximadas.

5.- Cálculo de los pesos (matriz P).

6.- Introduciendo A , P y ΔL en la ecuación

$$\Delta \bar{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P \Delta L$$

obtendremos la corrección para cada una de las coordenadas aproximadas.

5.2 Cálculos preliminares

Para el desarrollo de este subcapítulo es necesario mencionar la importancia que tiene la manipulación de la gran cantidad de datos tanto de campo como de gabinete, así como el manejo de los datos en general, puesto que existen serios errores al numerar las estaciones, confusiones en la identificación de líneas observadas y errores accidentales de anotación de datos, entre otros.

El ordenamiento de las distancias observadas así como de los ángulos verticales y demás factores debe realizarse de una manera metódica, para lo que es útil el empleo de impresos especiales (fig. 18), los cuales nos ayudarán a manejar sin titubeos la información recabada.

En la figura 18 se muestra el proceso de cálculo a partir de los datos observados en campo, cabe hacer mención que este ejemplo se presenta exclusivamente para ilustrar la secuencia de cálculo, pero debe aclararse que este cálculo se debe hacer preferentemente por medio de una máquina de cómputo. En la tabla 3 se presenta el resultado de los cálculos para las 28 líneas observadas de donde se partirá para la obtención de los datos necesarios para el ajuste.

La secuencia en los cálculos preliminares los realizaremos de acuerdo a los pasos mencionados en el subcapítulo anterior.

MICROTRILATERACION

UNAM - PENEX - IMP

Complejo Petroquimico Morelos

Coatzacoalcos, Ver.

EST 1 P.V. 2

FECHA 07-FEB-86

TEMP. 26.4°C

PRESION A. 755.3 mm Hg

DISTANCIAS
(m)

α VERT

444.502
.499
.500
.501
.502
.503
.499
.500
.499
.498
.498
.500

0	1	2
91	02	25.0
91	02	24.5
91	02	25.1
268	54	40.9
268	54	40.1
268	54	41.6
91	02	26.0
91	02	26.8
91	02	24.6
268	54	41.1
268	54	41.4
268	54	41.5

DI = 444.5001

DC = 444.5126

σ = 0.0055

σ_0 = 0.0016

α VERT. $91^{\circ}03'52''14$

DIST. HOR. = 444.4359

PRECISION = 1:269,436

INTERVALO DE CONFIANZA

$444.497 < X < 444.503$

fig. 17 Forma para registro y cálculo de datos.

LINEA	EST	P.V.	DIST. HOR	PRECISION 1 : X
1	1	2	444.4359	269436
2	2	3	968.3133	461481
3	3	4	593.0563	338452
4	2	4	880.9847	438489
5	1	4	638.1644	356880
6	2	9	461.6826	278044
7	1	5	740.0315	394734
8	1	3	998.0066	468665
9	1	8	489.4134	291739
10	8	9	426.4739	260255
11	1	9	614.4921	347309
12	5	4	547.8211	318770
13	6	4	869.3611	435204
14	5	6	472.9854	283766
15	1	6	645.0695	359590
16	9	10	LINEA	BASE
17	1	7	865.8529	434226
18	8	7	552.2754	320692
19	7	6	543.5482	316785
20	11	7	755.3288	399803
21	8	11	568.0366	327626
22	9	11	641.5357	358199
23	12	7	441.1912	267802
24	12	11	548.8050	319144
25	13	12	661.5916	366004
26	13	11	403.8690	251403
27	13	10	607.9266	344661
28	10	11	458.3240	276502

Tabla 3. Distancias horizontales de la red

5.2.1 Cálculo de coordenadas preliminares.

Las coordenadas preliminares de los vértices de trilateración se obtendrán por el método polar a partir de las coordenadas fijas de los vértices 9 y 10. Por ejemplo, las coordenadas del vértice 8 se obtuvieron de la siguiente forma:

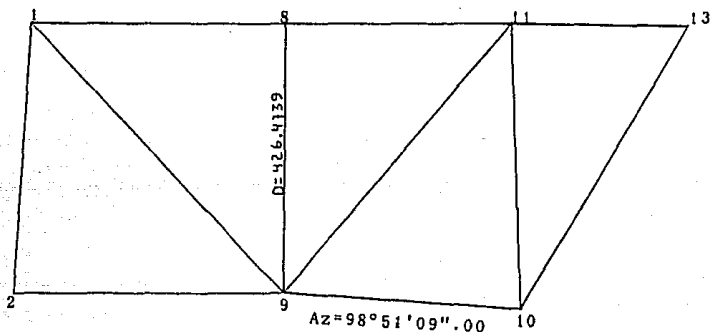


fig.18 Coordenadas preliminares del vértice 8.

tenemos que

$$Az_{9,8} = Az_{9,10} - \zeta H + 360$$

sustituyendo

$$\begin{aligned} Az_{9,8} &= 98^{\circ}51'09''.00 - 103^{\circ}59'26''.68 + 360 \\ &= 354^{\circ}51'42''.32 \end{aligned}$$

por coordenadas polares

$$\text{Proy. } Y_{8,9} = 424.7601$$

$$\text{Proy. } X_{8,9} = -38.1946$$

las coordenadas aproximadas para el vértice 8 serán

$$Y_8 = Y_9 + \text{Proy. } Y_{8,9} = 1835.6000 + 424.7601$$

$$X_8 = X_9 + \text{Proy. } X_{8,9} = 1913.3900 + (-38.1946)$$

así

$$8(Y,X) = 8(2260.3601, 1875.1954)$$

similarmente se calculan las coordenadas preliminares de los vértices restantes, ver Tabla 4.

EST	COORDENADAS	
	Y	X
1	2165.6199	1395.0394
2	1726.6834	1464.7387
3	1731.4185	496.4370
4	2260.6895	763.9962
5	2769.4509	967.1458
6	2809.2289	1438.4221
7	2802.2241	1981.9264
8	2260.3601	1875.1954
9	1835.6000	1913.3900
10	1745.9833	2488.7905
11	2201.7182	2440.1969
12	2750.1559	2420.1209
13	2240.6781	2842.1823

Tabla 4. Coordenadas preliminares

5.2.2 Cálculo de los valores de $F(X^0)$ o L_{aprox} .

Los valores para el vector L_{aprox} se obtuvieron de las coordenadas preliminares indicadas en la Tabla 4.

Tenemos que

$$F(X^0) = L_{aprox} = \sqrt{(Y_i^0 - Y_i^a)^2 + (X_i^0 - X_i^a)^2}$$

Por ejemplo, para la línea 3-4, calculemos su L_{aprox} :

$$L_{aprox} = \sqrt{(Y_4^0 - Y_3^a)^2 + (X_4^0 - X_3^a)^2}$$

sustituyendo valores

$$\begin{aligned} L_{aprox} &= \sqrt{(2260.6895 - 1731.4185)^2 + (763.9962 - 496.4370)^2} \\ &= 593.0563 \end{aligned}$$

Los valores para el vector L_{aprox} se dan en la Tabla 5. El orden de los valores es arbitrario aunque, en los cálculos sucesivos se mantendrá el orden establecido por número de línea indicado en las Tablas 3 y 5.

5.2.3 Cálculo de los elementos de la matriz ΔL .

Los componentes de la matriz ΔL se obtienen de la diferencia entre el valor de la distancia observada y la calculada, así

LINEA	EST	P.V.	L _{aprox}	ΔL
1	1	2	444.4359	0.0000
2	2	3	968.3133	0.0000
3	3	4	593.0563	0.0000
4	2	4	881.0236	-0.0389
5	1	4	638.1644	0.0000
6	2	9	461.6826	0.0000
7	1	5	740.0708	-0.0393
8	1	3	998.0066	0.0000
9	1	8	489.4134	0.0000
10	8	9	426.4739	0.0000
11	1	9	614.4920	+0.0001
12	5	4	547.8211	0.0000
13	6	4	869.3364	+0.0247
14	5	6	472.9520	+0.0334
15	1	6	645.0695	0.0000
16	9	10	LINEA BASE	
17	1	7	865.8529	0.0000
18	8	7	552.2754	0.0000
19	7	6	543.5494	-0.0012
20	11	7	755.3934	-0.0646
21	8	11	568.0366	0.0000
22	9	11	641.5357	0.0000
23	12	7	441.2771	-0.0859
24	12	11	548.8050	0.0000
25	13	12	661.5916	0.0000
26	13	11	403.8690	0.0000
27	13	10	607.9545	-0.0279
28	10	11	458.3183	+0.0057

Tabla 5. Elementos de los vectores L_{aprox} y ΔL

$$\Delta L = L - L_{\text{prev}}$$

$$\begin{bmatrix} D_1 - D_1^o \\ D_2 - D_2^o \\ \text{---} \\ \text{---} \\ D_n - D_n^o \end{bmatrix}$$

ahora, la primer componente del vector ΔL cuyos datos pertenecen a la línea 1 de la trilateración es:

$$\Delta L_1 = L - L_{\text{prev}}$$

sustituyendo valores

$$\begin{aligned} \Delta L_1 &= 444.4359 - 444.4359 \\ &= 0.0000 \end{aligned}$$

para la línea 2-4 tenemos

$$\begin{aligned} \Delta L &= 880.9847 - 881.0236 \\ &= -0.0389 \end{aligned}$$

las demás componentes del vector ΔL se dan en la tabla 5 y fueron calculados en la misma forma que en el ejemplo.

5.2.4 Formación de la matriz de pesos P

Sabemos que el peso de una observación es el valor relativo

que dicha observación pueda tener cuando se le compara con cualquier otro valor de la observación tomado como referencia.

Los pesos son expresiones de las calidades relativas (índices de confianza) de las observaciones. Un error estándar pequeño indica una alta precisión e implica una buena observación y, en consecuencia, un alto peso; y viceversa, un error estándar grande es indicativo de una observación pobre y de bajo peso.

En la trilateración se considera a los pesos como inversamente proporcional al error medio cuadrático de la medición de la línea así, para la línea 2-4 tenemos que

$$p = \frac{1}{269,436}$$

si multiplicamos cada valor por $K = 468,665$ el primer elemento de la matriz diagonal P es

$$p = \frac{1}{269,436} \times 468,665 \quad \text{---->} \quad a_{11} = 1.739$$

para la línea 2-3

$$p = \frac{1}{461,481} \times 468,665 \quad \text{---->} \quad a_{22} = 1.016$$

la matriz diagonal P de pesos se da en la Tabla 6.

$P(i, i) =$

1.739
1.016
1.385
1.069
1.313
1.686
1.187
1.000
1.606
1.801
1.349
1.470
1.077
1.652
1.303
1.079
1.461
1.479
1.172
1.430
1.308
1.750
1.469
1.280
1.864
1.360
1.695

Tabla 6. Matriz de pesos P

5.2.5 Formación de la matriz de diseño A .

Sea la línea 1-2 de la trilateración

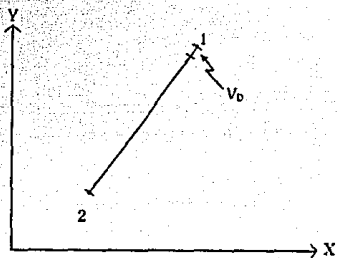


Fig. 20 Discrepancia V_0

al medir la línea 1-2 vemos que en la distancia D existe una discrepancia V_0 con respecto a la magnitud verdadera fig. esto es

$$f(X_1, Y_1, X_2, Y_2) = D + V_0 = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$$

Las ecuaciones de observación se obtienen a partir de las derivadas parciales de ésta función con respecto a cada una de las incógnitas X_1 , Y_1 .

$$f(X_1, Y_1, X_2, Y_2) = f(X_1^0, Y_1^0, X_2^0, Y_2^0) + \left(\frac{\partial f}{\partial X_1}\right) dX_1 + \left(\frac{\partial f}{\partial Y_1}\right) dY_1 + \left(\frac{\partial f}{\partial X_2}\right) dX_2 + \left(\frac{\partial f}{\partial Y_2}\right) dY_2$$

diferenciando con respecto a X_1

$$\frac{\partial f}{\partial X_1} = \frac{2(X_1^o - X_2^o)}{2 \sqrt{(X_1^o - X_2^o)^2 + (Y_1^o - Y_2^o)^2}} = \frac{(X_1^o - X_2^o)}{D_{1-1}^o}$$

similarmente con X_2

$$\frac{\partial f}{\partial X_2} = \frac{-2(X_1^o - X_2^o)}{2 \sqrt{(X_1^o - X_2^o)^2 + (Y_1^o - Y_2^o)^2}} = \frac{-(X_1^o - X_2^o)}{D_{1-1}^o}$$

ahora con Y_1

$$\frac{\partial f}{\partial Y_1} = \frac{2(Y_1^o - Y_2^o)}{2 \sqrt{(X_1^o - X_2^o)^2 + (Y_1^o - Y_2^o)^2}} = \frac{(Y_1^o - Y_2^o)}{D_{1-1}^o}$$

y, por último con Y_2

$$\frac{\partial f}{\partial Y_2} = \frac{-2(Y_1^o - Y_2^o)}{2 \sqrt{(X_1^o - X_2^o)^2 + (Y_1^o - Y_2^o)^2}} = \frac{-(Y_1^o - Y_2^o)}{D_{1-1}^o}$$

como

$$f(X_1, Y_1, X_2, Y_2) = D + V_D$$

entonces

$$D_{1-2} + V_{1-2} = D_{1-1}^o + \left(\frac{X_1^o - X_2^o}{D_{1-1}^o} \right) dX_1 + \left(\frac{X_2^o - X_1^o}{D_{1-1}^o} \right) dX_2 + \left(\frac{Y_1^o - Y_2^o}{D_{1-1}^o} \right) dY_1 + \left(\frac{Y_2^o - Y_1^o}{D_{1-1}^o} \right) dY_2$$

despejando V_{1-2} , tenemos

$$V_{1-2} = \left(\frac{X_1^o - X_2^o}{D_{1-1}^o} \right) dX_1 + \left(\frac{X_2^o - X_1^o}{D_{1-1}^o} \right) dX_2 + \left(\frac{Y_1^o - Y_2^o}{D_{1-1}^o} \right) dY_1 + \left(\frac{Y_2^o - Y_1^o}{D_{1-1}^o} \right) dY_2 - (D_{1-2} \text{ OBS} - D_{1-2} \text{ CALC})$$

En forma similar se forman las ecuaciones de observación para las 26 líneas restantes.

Los valores de $f(X^0)$ resultan del cálculo aproximado de las coordenadas de los vértices, como se indicó en el punto 5.2.1 de este capítulo.

Sustituyendo en la ecuación anterior las coordenadas aproximadas indicadas en la Tabla 4 tenemos

$$\begin{aligned} D_{1,2} &= \sqrt{(2165.6199-1726.6834)^2 + (1395.0394-1464.7387)^2} \\ &= 444.4359 \end{aligned}$$

realizando operaciones

$$V_{1,2} = -0.1568dX_1 + 0.1568dX_2 + 0.9876dY_1 - 0.9876dY_2 - (444.4359 - 444.4359)$$

donde

- 0.1568 ---> elemento a_{11} de la matriz de diseño A
- 0.1568 ---> elemento a_{12} de la matriz de diseño A
- 0.9876 ---> elemento a_{13} de la matriz de diseño A
- 0.9876 ---> elemento a_{14} de la matriz de diseño A

Los demás elementos de la matriz de diseño A se calculan y se obtienen de igual forma, éstos elementos se pueden reducir y ordenar conforme a cada una de las incógnitas dX_i y dY_i como se muestra en el modelo matricial $V = AX - L$ de la Tabla 7.

5.3 Ajuste de la red y coordenadas finales.

Una vez obtenidas las matrices A, P y L, se introducen a un programa de cómputo (fig. 20) que resuelva el modelo matricial:

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P \Delta L$$

y obtener las correcciones dX y dY para cada una de las coordenadas preliminares.

```

1 5 100 *** AJUSTE DE UNA RED DE TRIANGULACION ***
2 10 DIM A(27,27),B(27,27),L(27,1),K(27,27),C(27,27),D(27,27),E(27,27)
3 20 DIM F(27,1),G(27,1),H(27,1),I(27,1)
4 30 MAT A=ZERO(27,27)
5 40 FOR I=1 TO 27
6 50 INPUT "X,Y,Z,M,L,W",A(I,X),A(I,Y),A(I,Z)
7 60 NEXT I
8 65 MAT B=IUPR A:
9 67 PRINT
10 70 MAT F=ZERO(27,27)
11 80 FOR I=1 TO 27
12 90 INPUT F(I,1)
13 100 NEXT I
14 110 FOR I=1 TO 27
15 120 INPUT L(I,1)
16 130 NEXT I
17 140 MAT B=TRN (A)
18 150 MAT C=B*A
19 160 MAT D=C*A
20 170 MAT E=IUPR (D)
21 180 MAT F=C*F
22 190 MAT G=F*F
23 194 PRINT
24 195 PRINT "CORRECCIONES A LAS DISTANCIAS"
25 200 MAT PRINT G:
26 205 PRINT
27 210 MAT H=A*G
28 220 MAT L=L-H
29 230 MAT PRINT K:
30 235 PRINT
31 240 MAT PRINT H:
32 250 END

```

fig. 20 Codificación del programa.

Con el programa anterior obtenemos las correcciones dX y dY que se dan en la Tabla 8 y que sumadas algebraicamente a las

coordenadas preliminares obtendremos las 13 coordenadas ajustadas de la red de trilateración y su correspondiente error medio cuadrático en la obtención de estas coordenadas (Tabla 9)

	CORRECCIONES A LAS DISTANCIAS	
	difer. x	difer. y
7		
8	.156636E-01	.427751E-01
9	-.059053E-02	.331046E-01
10	-.112273E-02	.547660E-01
11	.280163E-01	.353460E-01
12	-.541753E-01	.109219E-01
13	-.074093E-01	.239424E-01
14	-.028327E-01	-.103027E-01
15	-.108866E-01	-.264571E-03
16	-.751188E-03	-.255871E-03
17	-.106259E-02	-.531233E-02
18	-.412318E-02	-.204535E-01
19		
20		
21		
22		

Tabla 8 Correcciones dX y dY.

Con las coordenadas ajustadas, puede obtenerse nuevamente el vector L_{aprox} y realizar una segunda iteración sustituyendo unicamente los valores del vector L_{aprox} y obtener una segunda corrección a las coordenadas ya ajustadas.

Para el ajuste de la red se realizó una segunda iteración, cuyos resultados no alteraron las coordenadas anteriormente ajustadas. Así, las coordenadas finales de la red de trilateración realizada en las plantas de proceso del CPM son las expuestas en la Tabla 9.

COORDENADAS

Y	EMC	X	EMC
2165.6526	0.00121	1395.0540	0.00081
1726.7165	0.00122	1464.7291	0.00066
1731.4730	0.00157	496.4326	0.00045
2260.7247	0.00126	764.0242	0.00112
2769.4707	0.00095	967.1999	0.00156
2809.2519	0.00102	1438.5054	0.00194
2802.2048	0.00093	1982.0091	0.00193
2260.3598	0.00011	1875.2062	0.00070
1835.6000	*****	1913.3900	*****
1745.9833	*****	2488.7905	*****
2201.7178	0.00014	2440.1976	0.00018
2750.1506	0.00049	2420.1224	0.00027
2240.6573	0.00097	2842.1778	0.00045

Tabla 9. Coordenadas ajustadas.

CAPITULO 6 CONCLUSIONES

En los diferentes órdenes de la vida moderna, dentro de un marco social de actividades, se presenta siempre la necesidad de planear la ejecución de determinados trabajos materiales, en el que los beneficios que se esperan de los recursos naturales de que se dispone en el CPM, repercutan ampliamente en la economía general de la nación.

Así, es de vital importancia continuar los esfuerzos encaminados a implantar redes de alta precisión aplicadas a la construcción, apoyándose para esto en la tecnología más reciente, esperando que estas actividades, aunque no limitadas, nos permitan a mediano plazo colocarnos en un muy respetable nivel en el plano internacional y de esta manera cumplir mejor con el objetivo de ser una fuente de expertos en el área de redes de apoyo aplicadas a obras de ingeniería civil.

Por medio de la presente obra se hace un llamado a las autoridades de PEMEX y en especial a las del CPM para tomar en cuenta la red diseñada sobre el complejo, a fin de que cada planta y cada compañía estandarice sus coordenadas a éste sistema ya que la construcción independiente de cada planta

trae como consecuencia errores de ensamblaje o de interconexión entre las diferentes plantas. dado que éste problema es ocasionado por la falta de personal calificado en el complejo (ingenieros topógrafos) y a la falta de normas técnicas de precisión tanto para el control altimétrico como para el horizontal.

Cabe mencionar que a pesar de que éste proyecto se planteó por un problema de interés local, al inquirir sobre como resolver problemas similares de trascendencia social sin tener que gastar en la importación de la tecnología necesaria, nos encontramos con que generar nuestra propia tecnología implica entrar en competencia con los demás países. así, con la adopción de ésta metodología por PEMEX y la difusión de ella a través de sus gerencias, además de elevar la técnica en levantamientos de apoyo, evitará duplicidad de trabajos y por lo tanto pérdidas económicas y de esfuerzos humanos.

BIBLIOGRAFÍA

- BLACHUT, Chrzanowski, Jouko S. Cartografía y levantamientos urbanos, 1a. edición, ed. DGGTN, México, 1980, 519 p.
- BREED, Charles Blaney. Topografía, 6a. edición, ed. Urmo, Bilbao, 1974, 587 pag.
- DOMINGUEZ, Garcia-Tejero Fco. Topografía general y aplicada, 6a. edición, ed. Dossat, Madrid, 1974, 823 pag.
- INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA. Manual de levantamientos geodésicos, 1a. edición, ed. Comisión de Cartografía, México, 1966, 200 pag.
- PASSINI, Caudío. Tratado de topografía, 6a. edición, ed. Guatavo Gill, Barcelona, 1969, 417 pag.
- REYES, Ibarra- Hdez Navarro A. apuntes de Topografía Moderna, ed. División de Educación Continua UNAM., México, 1985, 125 pag.
- SOSA, Torres Rafael. Cálculo de ajustes en ingeniería topográfica, 1a. edición, ed. , México, 1885, 335 pag.
- VA, A. Sundakov. Trabajos geodésicos en la construcción de grandes obras industriales y altos edificios, 1a. edición, ed. MIR, Moscú, 1981, 240 pag.
- ZARCO, Hdez. Eduardo. tésis Integración de una red de nivelación de precisión en el CPM, México, 1987, 82 pag.