

**TESIS CON
MALLAS DE ORIGEN**

2417



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**INTEGRACION DE UNA RED DE NIVELACION
DE PRECISION 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:
EDUARDO ZARCO HERNANDEZ

MEXICO, D. F.

1987

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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

Señor EDUARDO ZARCO HERNANDEZ
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Federico Alonso Lerch, para que lo desarrolle como TESIS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA.

INTEGRACION DE UNA RED DE NIVELACION DE PRECISION
EN EL COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS.

1. INTRODUCCION
2. GENERALIDADES
3. ANTEPROYECTO
4. PROYECTO
5. LEVANTAMIENTO
6. AJUSTE DE LA RED DE NIVELACION
7. INTEGRACION DE LA RED
8. CONCLUSIONES

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con 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 Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la TESIS, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 27 de noviembre de 1986.
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

 OARCH/GZM/ragg.

INTEGRACION DE UNA RED DE NIVELACION DE PRECISION EN EL COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS

Indice

1. Introducción.	1
2. Generalidades.	4
2.1 Antecedentes del Complejo Petroquimico Morelos.	4
2.2 Localización.	4
2.3 Características.	7
2.4 Instalaciones.	7
2.5 Justificación del Complejo.	14
3. Anteproyecto.	17
3.1 Red de bancos de nivel preliminar.	18
3.2 Reconocimiento.	20
3.3 Recopilación de información.	22
3.4 Red de bancos de nivel definitiva.	23
4. Proyecto.	26
4.1 Normas técnicas de nivelación de precisión.	26
4.2 Equipo y personal.	30
4.2.1 Determinación del Error de Colimación ..	31
4.3 Monumentación.	35
4.4 Rutas de nivelación.	37
5. Levantamiento.	40
5.1 Metodología.	40
5.2 Comprobación de cierre.	42
6. Ajuste de la red de bancos de nivel.	45
6.1 Método de Mínimos Cuadrados.	45
6.1.1 Errores de Observación.	46
6.1.2 Ley de la Probabilidad del Error.	47
6.1.3 Principio de Mínimos Cuadrados.	50
6.1.4 Observaciones Indirectas y Ecuaciones de Observación.	54
6.1.5 Ajuste Paramétrico con Notación Matricial.	55
6.2 Ajuste utilizando un programa de cómputo. .	58
6.3 Determinación de las cotas calculadas de la red y desniveles ajustados.	67
7. Integración de la red de nivelación.	72
7.1 Nivelación entre marcas y bancos del Complejo y bancos de nivel de la Red.	72
7.2 Determinación del plano de comparación de los niveles actuales del Complejo.	74
8. Conclusiones.	77
Bibliografía.	81

1 INTRODUCCION.

El problema principal a resolver en este trabajo es el de actualizar las cotas de los bancos de nivel existentes en el Complejo Petroquímico Morelos ya que sus cotas fueron determinadas por antiguos bancos de nivel que resultaron movidos debido al desplazamiento de terracerías, esto originó que cada Planta del Complejo haya sido construida con su propio banco de nivel, habiendo entre ellas pequeñas diferencias de elevación. Aunado a esto, la necesidad de contar con bancos de nivel permanentes para la terminación de la construcción del Complejo y posteriormente dar mantenimiento al mismo.

Otro problema importante es la falta de bancos de nivel de precisión en el Complejo, ya que actualmente no se cuenta con ellos, porque, las elevaciones de los bancos de nivel que se encuentran en el mismo han sido determinadas por nivelaciones diferenciales. Además se manifiesta como otro problema importante la necesidad de contar con bancos de nivel de precisión cercanos desde cualquier punto del Complejo para dar apoyo altimétrico.

Con base en lo anterior se plantea la siguiente hipótesis: " Los niveles del Complejo Petroquímico Morelos no son consruentes entre sí ". Para comprobar esta, se hace necesario la intesración de una Red de Nivelación de precisión en este conjunto industrial.

El objetivo de la intesración de la red de nivelación de precisión es lograr la unificación del control altimétrico en el Complejo Petroquímico Morelos, aspecto muy importante en las grandes obras de ingeniería.

Las ventajas de la red de nivelación son grandes, ya que en el anteproyecto de la misma, sus bancos de nivel serán localizados estratégicamente tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

Que los sitios escosidos para las mojoneras estuvieran terminados en su totalidad o en su defecto, que las obras alrededor de las mismas no puedan afectarlas.

Que la distribución de los bancos de nivel sea de tal forma que abarque todo el Complejo, principalmente las áreas en donde no se ha iniciado la construcción y aquellas áreas destinadas a futuras Plantas.

Otra ventaja importante de la Red de Nivelación de precisión es el que los errores accidentales serán mínimos debido a que cualquier nivelación que se base en la red a lo máximo tendrá una distancia de 200 metros de longitud, y en estas condiciones los errores accidentales son insignificantes, además si todas las nivelaciones se basan en la red, los errores no se propagarán y disminuirán notablemente evitando la repetición de trabajos que traen como consecuencia considerables pérdidas económicas. Por otro lado las mojones que servirán como bancos de nivel de la red, también tendrán la utilidad de servir posteriormente como puntos de control horizontal permanentes.

2 GENERALIDADES.

2.1. Antecedentes del Complejo Petroquímico Morelos.

La demanda nacional de productos derivados del petróleo, tales como los productos petroquímicos básicos, en creciente aumento en nuestro país, y la disponibilidad de materias primas, debido a los yacimientos petrolíferos descubiertos recientemente en Chiapas y Tabasco, originaron la necesidad de construir el nuevo Complejo Petroquímico Morelos para satisfacer dicha demanda y exportar los excedentes, tanto el Complejo Petroquímico Morelos así como los Complejos Pajaritos, La Cansrejera y Cosoleacaque fueron localizados estratégicamente de acuerdo a las facilidades del suministro de materias primas y la distribución de sus productos.

2.2. Localización.

El Complejo Petroquímico Morelos se encuentra localizado en el llamado Emporio Petroquímico más grande de Latinoamérica situado en el Sureste del estado de Veracruz, en el cual se encuentran los Complejos Petroquímicos de Pajaritos, La Cansrejera y Cosoleacaque, este último en Minatitlán Ver. El Complejo Petroquímico Morelos se encuentra en el municipio de Coatzacoalcos entre los ejidos de Gavilán de Allende, Pajaritos y Gavilán Norte, (Plano 2.2).

La localización del Complejo Petroquímico Morelos es el resultado de un estudio socioeconómico en el cual se consideraron los siguientes factores:

- a) Infraestructura de la zona.
- b) Inversión.
- c) Costo de transporte de materias primas y productos.
- d) Características del litoral para transportaciones marítimas.
- e) Vías de comunicación.

En el sistema de coordenadas topográficas de PEMEX cuyo origen se encuentra en el Complejo Petroquímico Pajaritos, el Complejo Petroquímico Morelos se encuentra entre las coordenadas N-1400, N-3200, E-400 y E-3000; una elevación promedio de 19 m sobre el nivel medio del mar. Cuenta con una superficie de terreno de aproximadamente 380 hectáreas. El clima predominante en esta región es cálido, teniendo variaciones en ciertas épocas del año, su relieve es relativamente plano con bastante vegetación; en su hidrografía cuenta con el arroyo Teapa, los vasos de almacenamiento de Pajaritos 1 y 2, y la presa de captación pluvial de la Cansrejera, esta última se encuentra a 2.5 km al Este del Complejo Petroquímico Morelos y es de la que se alimentará de agua. La temperatura es variable, siendo la máxima de 38.6 Grados Centígrados y la mínima de 13.8 Grados Centígrados. La humedad con que cuenta el terreno es salitrosa debido a la cercanía del mar y el nivel freático esta casi al nivel del suelo.

2.3. Características.

El Complejo Petroquímico Morelos recibirá la materia prima de las Plantas Criosénicas de Cactus, Chiapas y Nuevo PEMEX, Tabasco, y contará con todos los procesos necesarios para la obtención de los productos petroquímicos básicos que se ilustran en el diagrama 2.3.

A diferencia del Complejo Petroquímico Pajaritos, el Complejo Petroquímico Morelos contará con áreas verdes, un gran espacio para estacionamientos. Además la distribución de las plantas de proceso será de tal forma que se cuenta con una separación considerable entre ellas para la prevención de incendios. El Complejo Petroquímico Morelos contará con un acceso principal y una vía férrea para la transportación de sus productos por autotranque y carrotranque respectivamente.

2.4. Instalaciones.

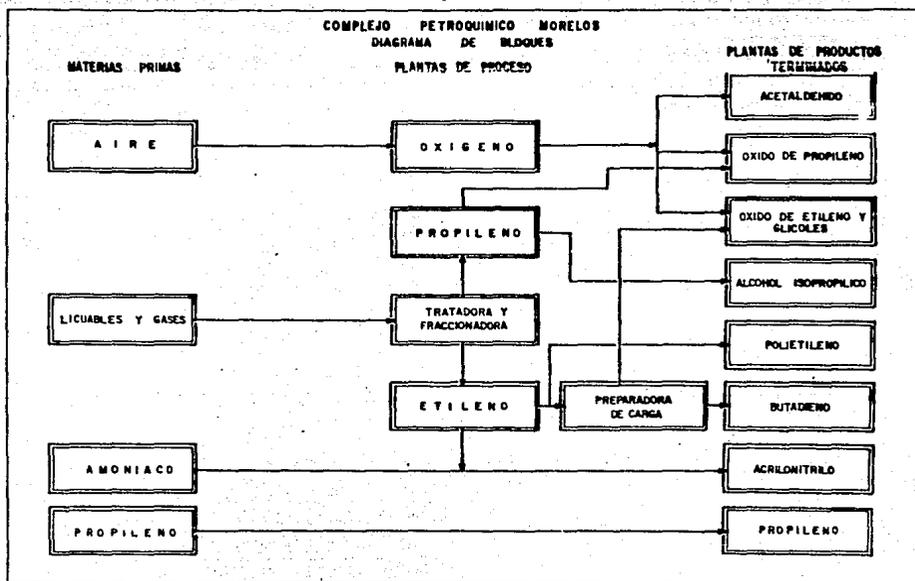
Las instalaciones con que contará el Complejo Petroquímico Morelos son las siguientes:

a) Plantas de proceso:

- Planta de Etileno.
Capacidad: 1388 ton/día.
Firma de Ing.: I. M. P.
Carga: Etano.
Producto: Etileno.
Subproducto: Hidrógeno, Propano, mezcla de butano y Gasolinas.
Función: Envía materia prima a las plantas de Oxido de Etileno y Glicoles, Polietileno y acetaldeido.
Usos: Elaboración de Polietileno, Oxido de Etileno, etc.

- Planta de Propileno.
Capacidad: 972 ton/día

Diagrama de Bloques
(diagrama 2.3)



Firma de Ing.: Houdry.
Carga: Propano.
Producto: Propileno.
Función: Produce la materia prima para la obtención de óxido de propileno.
Usos: Líquido refrigerante, etc.

- Planta de Acrilonitrilo.
Capacidad: 1381 ton/día.
Firma de Ing.: Nisats.
Carga: Propileno y Amónico.
Producto: Acrilonitrilo.
Usos: En la industria huleira (acrilonitrilo - butadieno), fibras sintéticas, etc.
- Planta de Alcohol Isopropílico.
Capacidad: 277 ton/día.
Firma de Ing.: Tokuyama Soda.
Carga: Propileno y agua.
Producto: Alcohol Isopropílico.
Usos: Aumentar el octanaje de la gasolina, cosméticos, detergente, etc.
- Planta de Polietileno de Alta Densidad.
Capacidad: 277 ton/día.
Firma de Ing.: Asahi.
Carga: Etileno.
Producto: Polietileno.
Usos: Plásticos, bolsas, juguetes, etc.
- Planta de Polipropileno.
Capacidad: 277 ton/día.
Firma de Ing.: Mitsui.
Carga: Propileno.
Producto: Polipropileno.
Usos: Fibras de Polipropileno, películas, resinas, componentes eléctricos, etc.
- Planta de Óxido de Propileno.
Capacidad: 166 ton/día.
Firma de Ing.: S. I. D.
Carga: Propileno, Oxígeno y Cloro.
Producto: Óxido de Propileno.
Subproductos: Dicloropropileno, Eterdicloro y diisopropileno.
Usos: Materia prima para la elaboración de glicoles.
- Planta de Óxido de Etileno y Glicoles.
Capacidad: 277 ton/día.
Firma de Ing.: Bufete Industrial.
Carga: Etileno y Oxígeno.
Producto: Óxido de Etileno y Glicoles.
Usos: Fibras sintéticas (poliéster y dacrón), películas, detergentes, anticongelantes, etc.
- Planta de Acetaldehído.
Capacidad: 416 ton/día.
Carga: Etileno y Oxígeno.
Producto: Acetaldehído.

Usos: Resinas, perfumería, fibras sintéticas, hules, etc.

- Planta de Butadieno.
Capacidad: 277 ton/día.
Carga: N-Butanos.
Producto: Butadienos.
Usos: Para la Industria Hulera, estireno, etc.
- Planta Fraccionadora de Hidrocarburos
Condensados.
Capacidad: 110,000 Bls/día.
Firma de Ins.: I. M. F.
Carga: Gases licuables.
Productos: Naftas livera y pesada, butano, etano y propano.
Función: Envía materias primas a las plantas de Etileno, Propileno y Butadieno.
- Planta de Oxígeno.
Capacidad: 972 ton/día.
Firma de Ins.: Linde A. G.
Carga: Aire.
Producto: Oxígeno de Alta Pureza.
Subproducto: Nitrógeno.
Función: Obtener oxígeno para usos posteriores en las plantas de Oxido de Etileno, Oxido de Propileno y Acetaldehido.

b) Planta de Servicios Auxiliares.

Los servicios auxiliares son la parte vital de las plantas de proceso, sin estos servicios no podrían operar, ya que no se tendrían ni la fuerza motriz, ni los medios de enfriamiento, ni el aire para los servicios tan importantes como lo son los de instrumentos de control de cada planta. La capacidad de esta planta es de 144,000 kw.

Los servicios auxiliares que se manejarán en el Complejo Petroquímico Morelos son:

- Agua:

Agua cruda.
Agua pretratada.
Agua desmineralizada.
Condensados.

- Vapor de Agua:

Vapor de 59.9 kg/cm².
Vapor de 45.0 kg/cm².
Vapor de 19.4 kg/cm².
Vapor de 4.6 kg/cm².

- Electricidad:

El sistema eléctrico del Complejo Morelos dispondrá de tres turbogeneradores de 48,000 kw cada uno, dos en operación normal para suministrar la energía necesaria y uno de relevo. Se dispondrá de las subestaciones reductoras de voltaje necesarias para alimentar la energía a las plantas al voltaje que se necesite.

- Aire:

Se contará con las compresoras necesarias para el aire de servicios y aire acondicionado para instrumentos.

c) Integración de Plantas.

El concepto Integración comprende todas las instalaciones que quedan fuera del límite de las plantas de proceso (límite de batería) y que prestan todos los servicios para que aquellas puedan operar satisfactoriamente. Las instalaciones para integración son:

- Urbanización:

Comprende calles, banquetas, pavimentos, alumbrado y vías férreas, áreas verdes, barda perimetral así como ductos eléctricos, telefónicos, drenaje pluvial, drenaje químico y drenaje aceitoso, etc.

- Soportería:

Comprende los Racks (nota 1) norte, centro y sur de tuberías de servicios, alimentación y desfogue de las plantas así como explanadas, taludes, pasos inferiores, puentes en cruces de calles, etc.

NOTAS:

- 1.- Rack es el conjunto de marcos de concreto de soportería alineados para tubería elevada.

- Almacenamiento:

El Complejo Morelos tendrá tanques de almacenamiento a presión para cada uno de los productos intermedios, así como los necesarios para cada uno de los productos finales.

- Embarque:

Son aquellas instalaciones necesarias para embarcar los productos terminados, ya sea por autotanque o carrotanque.

- Eléctricas:

Comprende las subestaciones eléctricas, así como las instalaciones necesarias para su distribución por todo el Complejo.

d) Otras Instalaciones.

- Talleres:

Comprende todos los talleres que se hacen necesarios para el mantenimiento de todo el Complejo, estos son:

- 1) Taller de Obra Civil.
- 2) Taller Eléctrico.
- 3) Taller Mecánico.
- 4) Taller de Tubería y Soldadura.
- 5) Taller de reparación de cambiadores de calor.

- Edificios.

Comprende los edificios administrativos, laboratorios, servicios médicos, bodegas, etc.

- Central Contra Incendios.

Comprende una casa de cinco bombas, tres eléctricas y dos de combustión interna, así como un tanque para almacenar agua contra incendios con una capacidad de 200,000 barriles cúbicos.

2.5. Justificación del Complejo.

La realización del Complejo Petroquímico Morelos se Justifica:

a) Desde el punto de vista Social:

Su realización permitirá acelerar el ritmo de crecimiento industrial al satisfacer con producción nacional los futuros requerimientos de una demanda que se caracteriza por su dinamismo.

Permitirá un mejor aprovechamiento de los recursos no renovable como lo son los hidrocarburos del petróleo.

A la par que crea un nuevo polo de desarrollo integrado, se crean también nuevas fuentes de trabajo.

Permitirá que las industrias que asuman los productos que se elaborarán en este Complejo puedan crecer con la seguridad de que contarán con las materias primas que requieran, sin estar sujetas a las disponibilidades externas y las drásticas fluctuaciones de los precios internacionales.

b) Desde el punto de vista Económico.

Con las plantas de gran capacidad que forman parte del Complejo Petroquímico Morelos, permiten las economías de escala, y al estar integradas, logran otras economías complementarias que, en última instancia, se refleja en un menor costo por unidad producida.

El proyecto en sí es de una rentabilidad tal que permite no sólo la recuperación a corto plazo de lo invertido sino que además puede aportar a Petróleos Mexicanos recursos adicionales.

Por último hay que señalar que dado que se trata de un proyecto sumamente rentable, el margen disponible puede compensar satisfactoriamente cualquier diferencia de magnitud razonable en la estimación de los gastos de capital, de operación o en la demanda total con las cifras reales que pudieran obtenerse de este proyecto.

3 ANTEPROYECTO.

Según las Normas Técnicas Para Levantamientos Geodésicos editadas por la Dirección General de Geografía (DGG) de la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), "La etapa de anteproyecto consistirá en el establecimiento de las condiciones geométricas, técnicas, económicas y de factibilidad que permitan la elaboración de un diseño para realizar un levantamiento dado, destinado a satisfacer una determinada necesidad." Esta etapa está íntimamente ligada con el preanálisis, el cual deberá tomar en cuenta factores ligados con la exactitud requerida, disponibilidad de equipo, materiales, personal y demás facilidades, de modo que sea posible hacer un diseño óptimo.

Petróleos Mexicanos proporciona los recursos económicos y humanos necesarios para llevar a cabo este trabajo, por esto, en este capítulo solamente se hará el diseño de la Red de Nivelación atendiendo a las necesidades técnicas requeridas para la construcción del Complejo. Estas necesidades son:

- Integrar una Red de Nivelación de Precisión en el Complejo.
- Construir Bancos de Nivel permanentes.
- Contar con Bancos de Nivel cercanos desde cualquier punto del Complejo.
- Actualizar las Cotas de los Bancos de Nivel ya existentes.
- Lisar los Niveles del Complejo al sistema

topográfico de PEMEX en la zona con Nivelación de Precisión.

3.1. Red de Bancos de Nivel Preliminar.

Debido a la gran cantidad de instalaciones, equipo y tuberías con que cuenta un Complejo Petroquímico, es necesario diseñar una red con las mojoneras suficientes para satisfacer la gran demanda de control altimétrico que requiere la construcción del mismo, por esto, la localización de las mojoneras debe ser de tal manera que entre ellas haya una distancia máxima de 300 metros.

El diseño de la red de bancos de nivel preliminar, se basa principalmente, en un plano de localización general del Complejo (Plano 3.1) y está dividido en cuatro áreas de instalaciones que en orden de importancia para este trabajo son:

- 1) Area de Plantas.
- 2) Area de Tanques.
- 3) Area de Quemadores.
- 4) Area Administrativa.

Para dar cota a la red, se encuentra ubicado el banco de nivel de partida en la Glorieta Sur, (Plano 3.1) además se propone la localización de 29 bancos de nivel provisionales. La distribución se hizo atendiendo a la importancia de las áreas de instalaciones y es notorio que en el área de plantas se encuentre ubicado el mayor número de bancos de nivel, mientras que, en el área administrativa se encuentra el menor número de ellos.

3.2. Reconocimiento.

El trabajo de reconocimiento consiste en la visita directa en el área de trabajo con el fin de verificar las características definidas por el diseño de la red de bancos de nivel preliminar. Las operaciones en el reconocimiento deben desembocar necesariamente en la elaboración del proyecto definitivo.

Considerando que este trabajo es la integración de una red de nivelación de precisión en el Complejo Petroquímico Morelos, el cual se encuentra actualmente en construcción, se hace necesario la elaboración de un plano de reconocimiento (Plano 3.2) el cual indique el avance de la obra civil para definir la posible localización de los bancos de nivel.

El plano de reconocimiento se clasificó en tres zonas delimitadas por el avance de obra civil, estas son:

- A) Más del 90 % construido.
- B) Entre 35 % y 90 % construido.
- C) Menos del 35 % construido.

Es obvio que la zona B, (ver Plano 3.2) reúne todas las características para que en ella se ubiquen todos los bancos de nivel, porque en esta zona se encontrará el mayor número de equipo y se requiere más precisión. El siguiente análisis de eliminación y traslado de algunos bancos de nivel en el diseño de la red, es el resultado del trabajo de reconocimiento.

- Los bancos de nivel Nos. 2, 3, 4 y 5 se eliminaron por estar en zona de corte.
- Los bancos de nivel Nos. 6, 16, 25 y 26 se eliminaron por estar en zona de terraplén.

La eliminación de los bancos de nivel anterior fué consecuencia de su dudosa estabilidad así como el poco tiempo de vida útil que podrían tener, cabe aclarar que en las conclusiones de este trabajo, se recomendará su construcción y nivelación para ser integradas a la red.

- Los bancos de nivel Nos. 11 y 29 se eliminaron por estar en una área la cual ya está construida casi en su totalidad.
- Los bancos de nivel Nos. 7, 8 y 9 se trasladaron al Rack de soportería Sur para garantizar su estabilidad.

3.3. Recopilación de Información.

Una vez hecho el reconocimiento se hace necesario investigar sobre los sitios escosidos para la posible localización de los bancos de nivel, esto con el fin de saber si estos pudieran ser afectados por alguna obra de proyecto no realizada todavía.

En la Jefatura de Integración de Plantas se encuentran los planos actualizados de avance de obra eléctrica, civil y mecánica tanto subterránea como superficiales. Observando la información representada en dichos planos, nos podemos percatar de la seguridad y estabilidad que los sitios escosidos ofrecen para los bancos de nivel.

Debido a esta información se decidió eliminar el banco de nivel No. 10 por estar en un sitio en el cual se construirá un paso inferior para el tendido de tubería.

En la calle No. 10, en el tramo en donde se encuentran los bancos de nivel 13, 14 y 15 hace falta la excavación para el tendido de un ducto eléctrico para el alumbrado, por tal motivo, la ubicación de dichos bancos de nivel será trasladada al Rack de soportería Centro, la localización de estos bancos de nivel se representará en el plano de la red de bancos de nivel definitiva.

3.4. Red de Bancos de Nivel Definitiva.

Una vez realizados los trabajos de reconocimiento y recopilación de información con lo cual se garantiza la estabilidad de los bancos de nivel restantes, se procederá a la elaboración de la red de bancos de nivel definitiva, la cual será nivelada, ajustada e integrada al Complejo Petroquímico Morelos.

De los 18 bancos de nivel restantes, se eliminaron los cuatro bancos de nivel que se encuentran en la calle No. 8 ya que no eran necesarios, puesto que esa área puede ser cubierta por los bancos de nivel que se encuentran en las calles No. 6 y No. 10.

Los bancos de nivel Nos. 27 y 28 fueron cambiados al camellón de la calle No. 13 y a la barda del estacionamiento, respectivamente por recomendación del Ing. J. Alberto Bravo Ocampo, Coordinador de Obra Civil de la Jefatura de Integración de Plantas, por ser más útil en esa área.

En el Plano 3.3 se ilustra la red de bancos de nivel, así como su numeración definitiva.

4 PROYECTO.

El trabajo de Proyecto comprende el estudio de las normas técnicas de nivelación de precisión editadas por Petróleos Mexicanos y otras instituciones, con el fin de establecer los requerimientos técnicos necesarios para la nivelación de la red de bancos de nivel, también se determina el equipo y personal que se necesita para efectuar dicha nivelación, así como la monumentación y elaboración de croquis de localización de los bancos de nivel. Se desarrolla un programa óptimo de rutas de nivelación para el máximo aprovechamiento del tiempo empleado en la nivelación de la red de bancos de nivel.

4.1. Normas Técnicas de Nivelación de Precisión.

La finalidad del estudio de las normas técnicas para nivelación de precisión es establecer los requerimientos técnicos necesarios para la monumentación y nivelación de la red de bancos de nivel. En el Complejo Petroquímico Morelos, Petróleos Mexicanos no cuenta con normas técnicas para levantamientos topográficos de precisión, únicamente tiene normas de trazo y niveles para construcción de obra (norma 3.108.01), estas normas establecen lo siguiente relacionado a las nivelaciones y monumentación de los bancos de nivel:

Norma 3.108.01

C Instrumentos y Aparatos.

C.01 Para los trabajos de topografía considerados en esta norma los instrumentos y aparatos son:

Instrumentos: Ficha, baliza, estadal, plomada, cinta métrica de fibra de vidrio o de lienzo, libreta de campo, etc.

Aparatos: Tránsito, nivel fijo, nivel de mano.

nivel de mancuera, dinamómetro, brújula, etc.

D.05 Nivelación.

D.05.a La nivelación tiene por objeto determinar las diferencias de altura entre puntos del terreno.

D.05.b La altura de cualquier punto sobre un plano de comparación, se le denomina: cota, elevación, altura o nivel.

D.05.c El plano de comparación estará referido a un punto de cota conocida llamado Ranco de Nivel, el cual se fijará en el terreno mediante una mojonera de concreto con una varilla o una saliente que defina el punto. Este punto debe ser fijo, notable, invariable y localizado en lugar conveniente.

D.05.d Cuando se necesite conocer la diferencia de nivel entre dos puntos, con obstáculos intermedios, se procede a utilizar el método de puntos intermedios, o puntos de liza; al emplearse este método debe tenerse la precaución de que los puntos de liza sean fijos e insustituibles.

D.05.s En las construcciones o instalaciones civiles, mecánicas o electromecánicas. Los niveles se pasarán por medio de un nivel montado o por medio de niveles de mancuera, según el caso lo requiera; los niveles se marcarán en las niveletas o travesaños o en bancos de nivel secundarios.

D.06 Tolerancias y especificaciones para nivelaciones. En México rigen las tolerancias establecidas en el libro "Metodos Topográficos" de R. Toscano, el cual recomienda las siguientes tolerancias:

D.06.a Nivelación entre dos puntos de cotas desconocidas, en este caso se efectúa doble nivelación, de ida y regreso.

$$\text{Tolerancia} = \pm 0.01m \sqrt{P}$$

P = Número de Km recorridos, incluyendo ida y vuelta.

D.06.b Nivelación entre dos puntos de cotas conocidas.

$$\text{Tolerancia} = \pm 0.02m \sqrt{P}$$

En este caso, P será sólo el número de km recorridos de uno a otro punto.

D.06.c Nivelación entre dos puntos, por doble punto de liza, con visuales medias de 100m.

$$\text{Tolerancia} = \pm 0.015m \sqrt{P}$$

P será el doble de la distancia recorrida.

D.06.d Nivelación entre dos puntos, por doble puesta de aparato.

$$\text{Tolerancia} = \pm 0.02m \sqrt{P}$$

P se considera el doble de la distancia recorrida.

F Conceptos de Trabajo.

- F.02 El banco de nivel principal, así como las referencias de los ejes de construcción, se deberán conservar durante todo el desarrollo de la obra. Las mojoneras deberán de ser construidas de concreto de 90 kg/cm² de resistencia, con sección de 30 x 30 x 40 cm y con una varilla de 12.7 mm de diámetro sobresalida 1 cm para banco de nivel.

Para la nivelación de la red de bancos de nivel se hace necesario recurrir a las Normas Técnicas Para Levantamientos Geodésicos editadas por la Dirección de Geografía de la Secretaría de Programación y Presupuesto, estas normas establecen lo siguiente:

- I.3.2 Levantamientos Geodésicos Verticales comprenderán todas aquellas operaciones de campo dirigidas a determinar la distancia vertical que existe entre puntos situados sobre la superficie terrestre y con cierto nivel de referencia.
- XII.7 En el caso de nivelación diferencial se deberá utilizar instrumentos del tipo de nivel montado, automático, basculante o de burbuja, con micrómetro de placas planoparalelas, cuyas características sean las indicadas en el punto V.2 (siguiente punto).
- V.2, para levantamientos geodésicos verticales, niveles montados con una sensibilidad de 0.25 a 0.50, que en el caso de primer orden tengan una calidad óptica tal que permita la repetibilidad de lecturas dentro de 0.2mm sobre una mira geodésica a una distancia de 50m en condiciones atmosféricas normales;....
- XII.9 Las miras que se ocupen en conexión con nivelación directa serán de tipo de Precisión, con cinta invar, doble graduación y nivel integrado, excepto en el caso del orden menor de exactitud para el que podrán usarse miras geodésicas de uso común. Las miras deberán apoyarse durante las medidas sobre plataformas metálicas pesadas (sapos o tortugas) que se puedan descansar firmemente sobre el terreno, excepto cuando se coloquen sobre la placa de la marca (Banco de Nivel).
- XII.14 Para las observaciones de nivelación directa, el instrumento deberá estar debidamente protegido, especialmente de los rayos del sol, mediante una sombrilla.

XII.16 Las observaciones se harán por sistema general de vistas atrás - vistas adelante alternadas, haciendo las lecturas del caso y las respectivas comprobaciones.

XIII.2 Con propósito de clasificación de los levantamientos geodésicos verticales, se establecen los siguientes ordenes y clases de exactitud:

ORDEN	CLASE	EXACTITUD (mm)
Primero	I	4
Primero	II	5
Segundo	I	6
Segundo	II	8
Tercero	único	12

En estas expresiones K es la distancia de desarrollo de la nivelación en un solo sentido, entre puntos de elevación conocida, expresada en kilómetros.

XIII.2.2 Segundo Orden, Clase I. Deberá tener aplicación en el establecimiento de la red geodésica vertical secundaria a modo de densificación, inclusive en áreas metropolitanas, para el desarrollo de grandes proyectos de ingeniería, en investigaciones de subsidencia del suelo y de movimientos de la corteza terrestre, y para apoyo de levantamientos de menor orden.

XIII.10 Con el propósito de reducir la ocurrencia de errores sistematicos, se deberá limitar la longitud de los visuales y mantener un adecuado balance de las mismas. En la siguiente tabla se dan las especificaciones del caso.

CONCEPTO	ORDEN DE LA NIVELACION				
	Primero		Segundo		
	C-I	C-II	C-I	C-II	
Longitud máxima de visuales.	50	60	60	70	90
Máxima diferencia entre la distancia de visuales por puesta de aparato.	2	5	5	10	10
Valor acumulativo de la máxima diferencia por sección.	4	10	10	10	10

(valores en metros)

XIII.16 A medida que avancen las nivelaciones se deberán ir haciendo las comprobaciones de los cierres de secciones de acuerdo con las especificaciones que indican en la siguiente tabla aplicables a corridas dobles en direcciones opuestas.

ORDEN	CLASE	Tolerancia para cierre de secciones corridas en ambos sentidos (en mm).	
Primero	I	3	
Primero	II	4	
Segundo	I	6	
Segundo	II	8	
Tercero	Único	12	

K es la distancia de sección en km.

Las normas técnicas que se acaban de citar, son las más importantes correspondientes a la nivelación de precisión. De acuerdo a dichas normas y al equipo que Petróleos Mexicanos proporcionará para éste trabajo, se decidió que la calidad de las nivelaciones de la red de bancos de nivel sea de Segundo Orden Clase I.

4.2. Equipo y Personal.

El equipo y personal necesario para éste trabajo que Petróleos Mexicanos proporcionará es el siguiente:

Equipo:

- Un Nivel fijo Wild NA2.
- Un Micrómetro de placa planoparalela Wild GPM3.
- Dos Estadales nuevos.
- Dos bases para estadal (sapos).
- Un nivel de mano.
- Una sombrilla.

- Una cinta métrica.
- Una libreta de nivelación.

Las características técnicas del Nivel fijo Wild NA2 y del Micrómetro de placa planoparalela Wild GPM3 son:

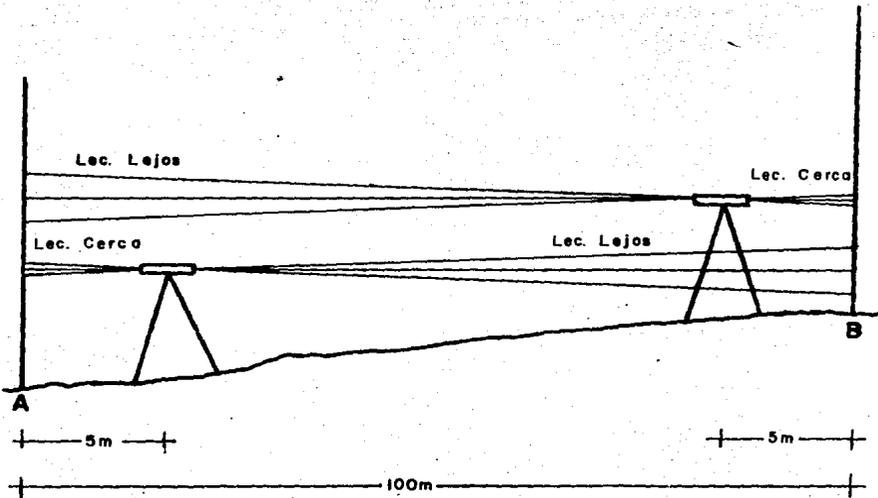
- Desviación estándar para 1 km doble nivelación con micrómetro.	+/- 0.3 hasta +/- 0.7 mm.
- Aumento del anteojo.	40X.
- Imagen.	Real Directa.
- Campo Visual a 100 m.	2.4m
- Constante de multiplicación.	100
- Constante de adición.	0
- Distancia mínima de enfoque.	1.6m.
- Precisión de centrado de la burbuja.	+/- 0."3
- Peso del instrumento.	2.4 kg.
- Peso del estuche.	1.8 kg.

La retícula del nivel NA2 tiene un trazo cuneiforme para una puntería más exacta en la mira.

4.2.1. Determinación del Error de Colimación.

Para determinar el error de colimación (C) del nivel se hizo una nivelación como se muestra en la figura 4.2.1.

Figura 4.2.1



Las lecturas sobre las miras lejanas, se deben corregir por refracción y curvatura con la siguiente tabla:

Distancia (m)	Corrección (mm)	Distancia (m)	Corrección (mm)
0	0.0	102	0.8
13	0.0	109	0.9
27	0.1	116	1.0
41	0.2	123	1.1
54	0.3	130	1.2
67	0.4	137	1.3
80	0.5	144	1.4
93	0.6	150	1.5
106	0.7		

El valor del error de colimación "C" se determina con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\sum \text{Lecturas cerca} - \sum \text{Lecturas lejos}}{\sum \text{Intervalos lejos} - \sum \text{Intervalos cerca}}$$

en donde C debe ser menor a 0.008, si es mayor es necesario ajustar el nivel.

La determinación de C para el Nivel Wild NA2 que se utilizó para la nivelación de la red se encuentra en el registro 4.2.2.

Personal:

- Un Ing. Topógrafo Jefe de brigada.
- Dos estadleros de 1a.
- Un anotador.
- Un peón porta aparato.
- Un peón porta sombrilla.
- Un peón ayudante.

Determinación del Error de Colimación

9/May/86

Est.	Lecturas Cercas				Lecturas Lejos				Correc.
	Lea.	Mic.	Dip.	Σ Dip.	Lea.	Mic.	Dip.	Σ Dip.	
A	1491		051		1909		449		
	1440	0.79	051	102	1460	3.82	449	898	-0.60
	1389				1011				
B	1520		050		1910		450		
	1470	8.36	050	100	1460	1.66	450	900	-0.60
	1420				1010				
Σ	291	9.15		202	292	5.48		1798	1.20
						-1.20			
					292	4.28			
Σ	Lecturas Cercas 2919.15 mm								
- Σ	Lecturas Lejos 2924.28 mm								
			- 5.13						
					c =	-5.13			
						1596			
Σ	Intervalos Cercas 1798								
Σ	Intervalos Lejos 202								
			1596						
					c =	-0.003			

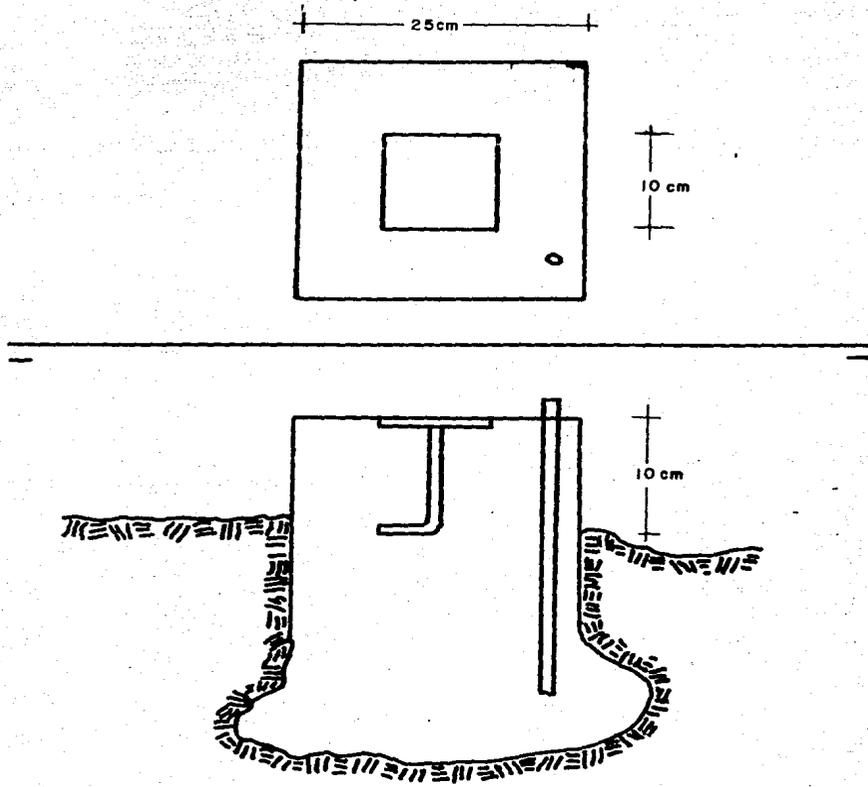
4.3. Monumentación y Localización de los bancos de nivel.

Como los bancos de nivel también serán utilizados posteriormente para el control horizontal, estos serán construidos con una placa metálica de 10 x 10 cm con una ancla de 15 cm soldada en la parte inferior colocada en el centro de la mojonera; a un lado de la placa se colocará una varilla de 12.7 mm de diámetro que sobresalga 2 cm para el banco de nivel. Las dimensiones de las mojoneras son de 25 x 25 cm y la profundidad será de acuerdo a la localización de cada una de ellas (figura 4.3).

La localización de los bancos de nivel esta dada por sus coordenadas horizontales aproximadas, y estas son:

Bancos de Nivel	Coordenadas	
No.	N	E
I	1730.8	1011.8
II	1966.8	1452.8
III	1965.8	1924.8
IV	1963.8	2440.8
V	2205.8	2638.4
VI	2206.8	2142.3
VII	2205.8	1619.1
VIII	2226.8	1209.9
IX	2770.0	1240.3
X	2769.5	1621.0
XI	2768.7	2154.2
XII	2769.3	2643.3
XIII	3005.8	1904.8
XIV	2968.8	1711.7

Figure 4.3



4.4. Rutas de Nivelación.

Por limitaciones de tiempo para efectuar la nivelación de la red de bancos de nivel, no se podía hacer la nivelación de ida y regreso, por tal motivo se optó por efectuar la nivelación en pequeños circuitos para garantizar la comprobación de cierre.

En el plano 4.4.1 están diseñadas las rutas de nivelación de pequeños circuitos de 3 a 6 lados para ir comprobando el cierre de estos conforme se vaya avanzando en la nivelación. En el plano 4.4.2 se muestran las rutas para la nivelación de la planta de Etileno del Complejo Petroquímico Pajaritos (mojonera madre del sistema coordinado de PEMEX en la región) a la mojonera 90 (mojonera que marca el centro del sistema coordinado de PEMEX), y de ésta al banco de nivel situado en la Glorieta Sur del Complejo Petroquímico Morelos.

El tiempo máximo programado para efectuar la nivelación de precisión de la red de bancos de nivel es de 12 días, 5 líneas por día y el tiempo restante para hacer repeticiones. Para efectuar la nivelación del Complejo Petroquímico Pajaritos al Complejo Petroquímico Morelos se tienen programados 8 días, estos limitados por la disponibilidad del vehículo de transporte que proporcionará la Jefatura de Integración de Plantas.

5 LEVANTAMIENTO.

5.1. Metodología.

Para hacer el levantamiento de la nivelación de precisión de la red, utilizamos un registro para nivelaciones de primer orden (registro 5.1.1) con el fin de ir controlando la nivelación. Este control consiste en determinar los intervalos entre los tres hilos de la retícula del nivel en una observación, los cuales no deben diferir en más de 1 mm y posteriormente se suman dichos intervalos para obtener la distancia entre la mira y el nivel. Lo anterior se hace dos veces en cada puesta de aparato, siendo una la lectura atrás y otra la lectura adelante. En cada puesta de aparato, la distancia atrás y la distancia adelante no deberá diferir en más de dos metros.

En la tabla 5.1.2 se muestran los resultados de la nivelación por línea de nivelación. La línea de nivelación número 18 se repitió ya que la suma de distancias atrás difiere con la suma de distancias adelante en más de 10 m como lo establecen las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos.

Línea de nivelación No. 8

12/may/86

P.V.	Lev.	Mic.	Dif.	Σ Dif.	Lev.	Mic.	Dif.	Σ Dif.	Observaciones
	2887		357						
BN-8	2530	3.96	358	715					temperatura 32° C viento suave
	2172								
	2826		368		1792		352		
PL-1	2260	8.38	368	736	1440	4.58	352	704	
	1892				1088				
	3486		426		1373		363		
PL-2	3060	6.28	426	852	1010	2.32	363	726	
	2634				0647				
	1697		317		1878		428		
PL-3	1380	8.22	317	634	1450	2.56	428	856	
	1063				1022				
	0718		108		3600		320		
PL-4	0610	8.81	109	217	3280	1.63	320	640	
	0501				2960				
					1716		096		
BN-1					1620	1.32	097	193	
					1523				

- 41 -

LEVANTAMIENTO

Registro S,1,1

PAGE 41

Tabla 5.1.2

Línea	Desnivel	Dist. Atrás	Dist. Adelante	Dif.	Dist. Total
1	1.64901	190.6	190.2	0.4	380.8
2	0.76485	269.6	267.8	1.8	537.4
3	6.08818	287.8	285.7	2.1	573.5
4	-1.98709	262.3	261.8	0.5	524.1
5	0.03404	216.6	215.3	1.3	431.9
6	-1.48420	274.1	272.2	1.9	546.3
7	-5.48182	294.0	294.2	0.2	588.2
8	4.41204	340.3	343.3	-3.0	683.6
9	1.07235	15.4	11.9	3.5	27.3
10	5.97663	281.0	282.3	-1.3	563.3
11	-7.04660	240.6	240.7	-0.1	481.3
12	0.16956	404.4	406.6	-2.2	811.0
13	4.85585	297.8	285.5	12.3	583.3
14	0.01207	100.0	99.7	0.3	199.7
15	-0.03043	335.8	335.0	0.8	670.8
16	0.01476	333.0	333.0	0.0	666.0
17	-6.85717	432.0	431.8	0.2	863.8
18	4.08584	480.3	481.9	-1.6	962.2
19	1.97471	46.6	46.1	0.5	93.7
20	0.09120	61.2	61.0	0.2	122.2
21	-2.01650	08.4	09.2	-0.8	17.6
22	-4.12673	85.3	86.0	-0.7	171.3
23	-0.02357	44.6	44.8	-0.2	89.4
24	4.15366	448.4	447.5	0.9	895.9
25	1.94368	261.4	261.4	0.0	522.8
26	0.07574	224.2	223.4	0.8	447.6
27	-6.51567	418.7	424.7	-6.0	843.4
28	0.15750	214.0	212.8	1.2	426.8
29	0.12513	98.0	98.4	-0.4	196.4
30	-1.04839	110.2	110.2	0.0	220.4
				Total =	16982.0

Unidades en Metros.

5.2. Comprobación de Cierre.

En la tabla 5.2.1 se encuentran las distancias, tolerancias y errores de cierre de los circuitos formados por las líneas de nivelación de la red. La tolerancia tomada es la de nivelación de Segundo Orden Clase I. Se escosieron los circuitos de tal manera que cada línea de nivelación se encontrará al menos en dos de ellos para garantizar su confiabilidad. En los circuitos en que aparecen secciones testadas, éstas se consideraron en sentido contrario para poder calcular el error de cierre.

Tabla 5.2.1

Circuito	Distancia (km)	Tolerancia $\pm \frac{1}{4} \sqrt{K}$	Error (mm)
1-2-3-4-5-6	3.9959	10.39	1.20
7-8-9	1.2991	9.70	1.20
9-10-11	1.2719	9.70	1.20
11-12-13-14	1.2622	9.90	1.20
13-14-15-16-17	1.4576	11.15	1.20
15-16-17-18-19-20-21-22-23	1.4576	11.15	1.20
20-21-22-23	1.4576	11.15	1.20
23-24-25-26-27-28-29-30	1.4576	11.15	1.20
27-28-29-30	1.4576	11.15	1.20
30-31-32-33-34	1.4576	11.15	1.20
33-34-35-36-37-38-39-40	1.4576	11.15	1.20
37-38-39-40	1.4576	11.15	1.20
40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50	1.4576	11.15	1.20
47-48-49-50	1.4576	11.15	1.20
50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60	1.4576	11.15	1.20
57-58-59-60	1.4576	11.15	1.20
60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70	1.4576	11.15	1.20
67-68-69-70	1.4576	11.15	1.20
70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80	1.4576	11.15	1.20
77-78-79-80	1.4576	11.15	1.20
80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90	1.4576	11.15	1.20
87-88-89-90	1.4576	11.15	1.20
90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100	1.4576	11.15	1.20
97-98-99-100	1.4576	11.15	1.20
100-101-102-103-104-105-106-107-108-109-110	1.4576	11.15	1.20
107-108-109-110	1.4576	11.15	1.20
110-111-112-113-114-115-116-117-118-119-120	1.4576	11.15	1.20
117-118-119-120	1.4576	11.15	1.20
120-121-122-123-124-125-126-127-128-129-130	1.4576	11.15	1.20
127-128-129-130	1.4576	11.15	1.20
130-131-132-133-134-135-136-137-138-139-140	1.4576	11.15	1.20
137-138-139-140	1.4576	11.15	1.20
140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150	1.4576	11.15	1.20
147-148-149-150	1.4576	11.15	1.20
150-151-152-153-154-155-156-157-158-159-160	1.4576	11.15	1.20
157-158-159-160	1.4576	11.15	1.20
160-161-162-163-164-165-166-167-168-169-170	1.4576	11.15	1.20
167-168-169-170	1.4576	11.15	1.20
170-171-172-173-174-175-176-177-178-179-180	1.4576	11.15	1.20
177-178-179-180	1.4576	11.15	1.20
180-181-182-183-184-185-186-187-188-189-190	1.4576	11.15	1.20
187-188-189-190	1.4576	11.15	1.20
190-191-192-193-194-195-196-197-198-199-200	1.4576	11.15	1.20
197-198-199-200	1.4576	11.15	1.20
200-201-202-203-204-205-206-207-208-209-210	1.4576	11.15	1.20
207-208-209-210	1.4576	11.15	1.20
210-211-212-213-214-215-216-217-218-219-220	1.4576	11.15	1.20
217-218-219-220	1.4576	11.15	1.20
220-221-222-223-224-225-226-227-228-229-230	1.4576	11.15	1.20
227-228-229-230	1.4576	11.15	1.20
230-231-232-233-234-235-236-237-238-239-240	1.4576	11.15	1.20
237-238-239-240	1.4576	11.15	1.20
240-241-242-243-244-245-246-247-248-249-250	1.4576	11.15	1.20
247-248-249-250	1.4576	11.15	1.20
250-251-252-253-254-255-256-257-258-259-260	1.4576	11.15	1.20
257-258-259-260	1.4576	11.15	1.20
260-261-262-263-264-265-266-267-268-269-270	1.4576	11.15	1.20
267-268-269-270	1.4576	11.15	1.20
270-271-272-273-274-275-276-277-278-279-280	1.4576	11.15	1.20
277-278-279-280	1.4576	11.15	1.20
280-281-282-283-284-285-286-287-288-289-290	1.4576	11.15	1.20
287-288-289-290	1.4576	11.15	1.20
290-291-292-293-294-295-296-297-298-299-300	1.4576	11.15	1.20
297-298-299-300	1.4576	11.15	1.20
300-301-302-303-304-305-306-307-308-309-310	1.4576	11.15	1.20
307-308-309-310	1.4576	11.15	1.20
310-311-312-313-314-315-316-317-318-319-320	1.4576	11.15	1.20
317-318-319-320	1.4576	11.15	1.20
320-321-322-323-324-325-326-327-328-329-330	1.4576	11.15	1.20
327-328-329-330	1.4576	11.15	1.20
330-331-332-333-334-335-336-337-338-339-340	1.4576	11.15	1.20
337-338-339-340	1.4576	11.15	1.20
340-341-342-343-344-345-346-347-348-349-350	1.4576	11.15	1.20
347-348-349-350	1.4576	11.15	1.20
350-351-352-353-354-355-356-357-358-359-360	1.4576	11.15	1.20
357-358-359-360	1.4576	11.15	1.20
360-361-362-363-364-365-366-367-368-369-370	1.4576	11.15	1.20
367-368-369-370	1.4576	11.15	1.20
370-371-372-373-374-375-376-377-378-379-380	1.4576	11.15	1.20
377-378-379-380	1.4576	11.15	1.20
380-381-382-383-384-385-386-387-388-389-390	1.4576	11.15	1.20
387-388-389-390	1.4576	11.15	1.20
390-391-392-393-394-395-396-397-398-399-400	1.4576	11.15	1.20
397-398-399-400	1.4576	11.15	1.20
400-401-402-403-404-405-406-407-408-409-410	1.4576	11.15	1.20
407-408-409-410	1.4576	11.15	1.20
410-411-412-413-414-415-416-417-418-419-420	1.4576	11.15	1.20
417-418-419-420	1.4576	11.15	1.20
420-421-422-423-424-425-426-427-428-429-430	1.4576	11.15	1.20
427-428-429-430	1.4576	11.15	1.20
430-431-432-433-434-435-436-437-438-439-440	1.4576	11.15	1.20
437-438-439-440	1.4576	11.15	1.20
440-441-442-443-444-445-446-447-448-449-450	1.4576	11.15	1.20
447-448-449-450	1.4576	11.15	1.20
450-451-452-453-454-455-456-457-458-459-460	1.4576	11.15	1.20
457-458-459-460	1.4576	11.15	1.20
460-461-462-463-464-465-466-467-468-469-470	1.4576	11.15	1.20
467-468-469-470	1.4576	11.15	1.20
470-471-472-473-474-475-476-477-478-479-480	1.4576	11.15	1.20
477-478-479-480	1.4576	11.15	1.20
480-481-482-483-484-485-486-487-488-489-490	1.4576	11.15	1.20
487-488-489-490	1.4576	11.15	1.20
490-491-492-493-494-495-496-497-498-499-500	1.4576	11.15	1.20
497-498-499-500	1.4576	11.15	1.20
500-501-502-503-504-505-506-507-508-509-510	1.4576	11.15	1.20
507-508-509-510	1.4576	11.15	1.20
510-511-512-513-514-515-516-517-518-519-520	1.4576	11.15	1.20
517-518-519-520	1.4576	11.15	1.20
520-521-522-523-524-525-526-527-528-529-530	1.4576	11.15	1.20
527-528-529-530	1.4576	11.15	1.20
530-531-532-533-534-535-536-537-538-539-540	1.4576	11.15	1.20
537-538-539-540	1.4576	11.15	1.20
540-541-542-543-544-545-546-547-548-549-550	1.4576	11.15	1.20
547-548-549-550	1.4576	11.15	1.20
550-551-552-553-554-555-556-557-558-559-560	1.4576	11.15	1.20
557-558-559-560	1.4576	11.15	1.20
560-561-562-563-564-565-566-567-568-569-570	1.4576	11.15	1.20
567-568-569-570	1.4576	11.15	1.20
570-571-572-573-574-575-576-577-578-579-580	1.4576	11.15	1.20
577-578-579-580	1.4576	11.15	1.20
580-581-582-583-584-585-586-587-588-589-590	1.4576	11.15	1.20
587-588-589-590	1.4576	11.15	1.20
590-591-592-593-594-595-596-597-598-599-600	1.4576	11.15	1.20
597-598-599-600	1.4576	11.15	1.20
600-601-602-603-604-605-606-607-608-609-610	1.4576	11.15	1.20
607-608-609-610	1.4576	11.15	1.20
610-611-612-613-614-615-616-617-618-619-620	1.4576	11.15	1.20
617-618-619-620	1.4576	11.15	1.20
620-621-622-623-624-625-626-627-628-629-630	1.4576	11.15	1.20
627-628-629-630	1.4576	11.15	1.20
630-631-632-633-634-635-636-637-638-639-640	1.4576	11.15	1.20
637-638-639-640	1.4576	11.15	1.20
640-641-642-643-644-645-646-647-648-649-650	1.4576	11.15	1.20
647-648-649-650	1.4576	11.15	1.20
650-651-652-653-654-655-656-657-658-659-660	1.4576	11.15	1.20
657-658-659-660	1.4576	11.15	1.20
660-661-662-663-664-665-666-667-668-669-670	1.4576	11.15	1.20
667-668-669-670	1.4576	11.15	1.20
670-671-672-673-674-675-676-677-678-679-680	1.4576	11.15	1.20
677-678-679-680	1.4576	11.15	1.20
680-681-682-683-684-685-686-687-688-689-690	1.4576	11.15	1.20
687-688-689-690	1.4576	11.15	1.20
690-691-692-693-694-695-696-697-698-699-700	1.4576	11.15	1.20
697-698-699-700	1.4576	11.15	1.20
700-701-702-703-704-705-706-707-708-709-710	1.4576	11.15	1.20
707-708-709-710	1.4576	11.15	1.20
710-711-712-713-714-715-716-717-718-719-720	1.4576	11.15	1.20
717-718-719-720	1.4576	11.15	1.20
720-721-722-723-724-725-726-727-728-729-730	1.4576	11.15	1.20
727-728-729-730	1.4576	11.15	1.20
730-731-732-733-734-735-736-737-738-739-740	1.4576	11.15	1.20
737-738-739-740	1.4576	11.15	1.20
740-741-742-743-744-745-746-747-748-749-750	1.4576	11.15	1.20
747-748-749-750	1.4576	11.15	1.20
750-751-752-753-754-755-756-757-758-759-760	1.4576	11.15	1.20
757-758-759-760	1.4576	11.15	1.20
760-761-762-763-764-765-766-767-768-769-770	1.4576	11.15	1.20
767-768-769-770	1.4576	11.15	1.20
770-771-772-773-774-775-776-777-778-779-780	1.4576	11.15	1.20
777-778-779-780	1.4576	11.15	1.20
780-781-782-783-784-785-786-787-788-789-790	1.4576	11.15	1.20
787-788-789-790	1.4576	11.15	1.20
790-791-792-793-794-795-796-797-798-799-800	1.4576	11.15	1.20
797-798-799-800	1.4576	11.15	1.20
800-801-802-803-804-805-806-807-808-809-810	1.4576	11.15	1.20
807-808-809-810	1.4576	11.15	1.

Estas nivelaciones se hicieron en dos secciones de las cuales sólo una cumple con los requisitos de cierre según las Normas Para Levantamientos Geodésicos (ver la siguiente tabla), la otra sección topográficamente es aceptable.

Línea	Distancia (km)	Tolerancia $\pm 6 \sqrt{K}$	Error (mm)
Mojonera 90 a Glorieta Sur	2.6900	9.84	-18.22
Planta Etileno a Mojonera 90	1.8890	8.25	- 4.85

Por tal motivo, estas nivelaciones sólo servirán para darle cota topográfica al banco de nivel de la glorieta sur del Complejo Petroquímico Morelos para ajustar la red de nivelación y posteriormente integrarla al Complejo.

6. AJUSTE DE LA RED DE BANCOS DE NIVEL.

6.1. Método de Mínimos Cuadrados.

Cuando se intenta determinar los valores de cantidades desconocidas, se ve que existe un límite en la precisión con la cual se puede efectuar una sola medida; para asegurar la máxima precisión en el resultado final, se recurre a la experiencia de hacer varias mediciones de una cantidad bajo las mismas condiciones. Al hacer varias mediciones se encontrará que los resultados son discordantes y que un mismo valor casi nunca ocurre dos veces y surge la cuestión que es averiguar los mejores valores que se pueden obtener de las mediciones efectuadas; para esto el método de los Mínimos Cuadrados tiene varios objetivos:

- La determinación de los mejores valores que es posible obtener en un grupo de mediciones.
- La determinación del grado de dependencia que se puede asignar a estos valores, o sea, el mérito relativo de las diferentes determinaciones.
- También nos capacita para averiguar las causas de varios errores que afectan a las mediciones y por lo tanto se puede aumentar la precisión del resultado haciendo una adecuada modificación en los métodos empleados.

El método de los mínimos cuadrados está fundado en la teoría matemática de la probabilidad, y en el supuesto de que los valores de las cantidades desconocidas que resulten ser las más probables se acepten como las mejores que se puedan obtener de las mediciones.

Como la base principal de los mínimos cuadrados son los errores que se presentan en las mediciones hablaremos primero de ellos.

6.1.1 Errores de Observación.

El error de observación en una medida es la diferencia del valor exacto del objeto medido y el valor dado de la observación.

El valor exacto de un objeto medido siempre será desconocido y por lo tanto el error también será desconocido.

Los errores de que son susceptibles las medidas se pueden clasificar en dos grupos: sistemáticos y accidentales.

- Errores Sistemáticos .- Son aquellos que obedecen a la presencia de una causa permanente y por lo tanto siguen una ley determinada, por lo que pueden modelarse matemáticamente y eliminar su efecto.
- Errores Accidentales .- Son aquellos que se deben a causas verdaderamente impredecibles y por lo tanto no se sujetan a una ley determinada, se presentan con diversas magnitudes y sentidos, esto es, son

aleatorios

Al hacer observaciones de una magnitud los resultados obtenidos serán discordantes y ninguno representará el valor exacto de esta magnitud, en este caso adoptaremos un valor representativo el cual constituya el valor más probable de la magnitud medida.

6.1.2. Ley de la Probabilidad del Error.

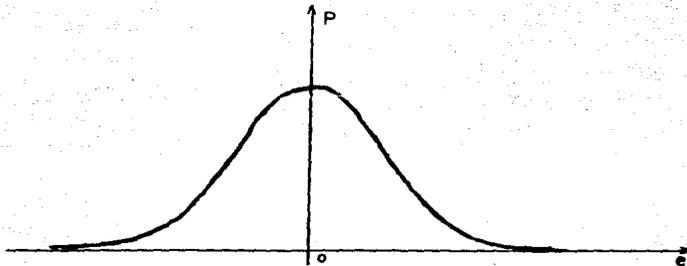
Los errores sistemáticos que se cometen se pueden corregir, ya que sus causas son bien conocidas y los únicos errores que subsisten son los accidentales, y es a estos errores a los que se le aplica la teoría de la probabilidad para poderlos someter a cálculo y formar por tanto una teoría, para lo cual nos valdremos de cuatro postulados expresados por las cuatro Hipótesis formuladas por Gauss.

Hipótesis

- 1.- Cuando se hacen varias determinaciones de una magnitud con el mismo cuidado y bajo idénticas circunstancias, el promedio de ellas constituye el valor más probable de esa magnitud.
- 2.- Los errores pequeños se presentan con mayor frecuencia que los errores grandes.
- 3.- Los errores negativos y positivos son igualmente frecuentes, o sea, se presentan con la misma probabilidad.

- 4.- Los errores muy grandes no se presentan. Los errores muy grandes son los que pasan cierto límite de observación.

Si en un sistema de coordenadas ponemos en el eje de las abscisas el valor de los errores y en el eje de las ordenadas la probabilidad de estos (gráfica 6.1),



gráfica 6.1

nos podemos dar cuenta que el comportamiento de los errores y sus probabilidades confirman los postulados de Gauss que son:

Postulados

- 1.- La probabilidad de que el error este comprendido entre $-\infty$ y $+\infty$ es igual a 1.
- 2.- Al aumentar el valor absoluto de las abscisas, o sea el valor de los errores, la probabilidad disminuirá rápidamente.

- 3.- Como la curva es simétrica con el eje de las ordenadas los errores positivos tienen la misma frecuencia que los errores negativos.
- 4.- La curva es asintótica con el eje de las abscisas, esto es, se acerca a dicho eje con tanta mayor rapidez cuando más grande son los errores, lo cual indica que disminuye su probabilidad.

La explicación anterior se debe a Gauss, aunque a A. Moivre se le acredita la derivación de la ley general (modelo matemático (nota 1)). El estableció la función de probabilidad de distribución Gaussiana que es muy razonable; tiene una forma analítica simple y es aceptada por convención y demostrada experimentalmente como la distribución más probable de la mayoría de las observaciones relativas a cantidades físicas. La función de probabilidad de Distribución Gaussiana es la siguiente (nota 2).

$$P = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$$h^2 = \frac{1}{2\sigma^2}$$

P = Probabilidad del Error.

σ = Desviación Estándar.

x = Error.

NOTAS:

- 1.- Rafael Sosa Torres, Cálculo de Ajustes en Ingeniería Topográfica, México D. F., 1985, p 101.
- 2.- Ibid. p 101

6.1.3. Principio de Mínimos Cuadrados.

El principio de Mínimos Cuadrados establece que el valor más probable de una cantidad física que ha sido observada n veces, es la media aritmética de dichas observaciones y debe cumplir con la condición de que la suma del cuadrado de sus residuos sea un mínimo.

Para demostrar este principio consideremos lo siguiente:

Sea Z el valor verdadero de una cantidad física observada, M_1, M_2, \dots, M_n los resultados de las observaciones y X_1, X_2, \dots, X_n los errores accidentales cometidos en las observaciones, por lo tanto tenemos:

$$\begin{array}{rcl} Z - M_1 & = & X_1 \\ Z - M_2 & = & X_2 \\ \vdots & & \vdots \\ Z - M_n & = & X_n \end{array} \quad Z - M_i = X_i \quad \dots \dots \dots (1)$$

La función de probabilidad de distribución Gaussiana es la siguiente:

$$P = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-h^2 x^2}$$

Por lo tanto la Probabilidad de cada uno de los errores es:

$$\begin{array}{l} P_1 = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-h^2 x_1^2} \\ P_2 = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-h^2 x_2^2} \\ \vdots \\ P_n = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-h^2 x_n^2} \end{array}$$

Como sabemos que la probabilidad de un suceso compuesto por varias eventualidades es igual al producto de las probabilidades individuales, esto es:

$$P = P \cdot P \cdot \dots \cdot P$$

$$P = \frac{1}{(\sigma\sqrt{2\pi})^n} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}$$

$$P = \frac{1}{(\sigma\sqrt{2\pi})^n e^{\frac{1}{2\sigma^2}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}}$$

El valor de P será máximo cuando el denominador sea mínimo y por lo tanto la suma del cuadrado de los errores debe ser mínima, esto es:

$$x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 = \text{Un Mínimo.}$$

Por otra parte, sabemos que la diferencia entre la media aritmética (\bar{Z}) y las observaciones son los residuos r_1, r_2, \dots, r_n por lo tanto tenemos:

$$\begin{aligned} \bar{Z} - M_1 &= r_1 \\ \bar{Z} - M_2 &= r_2 & \bar{Z} - M_i &= r_i & \dots \dots \dots (2) \\ \bar{Z} - M_n &= r_n \end{aligned}$$

y considerando lo que establece el Principio de mínimos cuadrados que propone a la media aritmética de una serie de observaciones como el valor más probable de la cantidad física observada, esto es:

$$\bar{Z} = Z$$

de esto podemos establecer con las ecuaciones 1 y 2 lo siguiente:

$$X_i = Z - M_i \doteq \bar{Z} - M_i = r_i$$

Por lo tanto:

$$X_i \doteq r_i$$

Concluimos que el valor más probable de los errores accidentales es igual al valor de los residuos, por lo tanto podemos concluir que la suma del cuadrado de los residuos debe ser un mínimo y expresándolo como una función de r tenemos:

$$f(r) = r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_n^2 = \text{Un Mínimo}$$

Para poder resolver esta ecuación encontremos su primera derivada con respecto a ' r ' e igualemos a cero:

$$\frac{df(r)}{dr} = 2r_1 + 2r_2 + \dots + 2r_n = 0$$

$$= r_1 + r_2 + \dots + r_n = 0$$

Substituyendo los valores para r_i de la ecuación 2 tenemos:

$$(\bar{Z} - M_1) + (\bar{Z} - M_2) + \dots + (\bar{Z} - M_n) = 0$$

$$\bar{Z} - (M_1 + M_2 + \dots + M_n) = 0$$

$$n\bar{Z} - \Sigma M_i = 0$$

$$\bar{Z} = \frac{\sum M_k}{n}$$

En observaciones pesadas el principio de los mínimos cuadrados establece lo siguiente:

$$f(r) = P_1 r_1^2 + P_2 r_2^2 + \dots + P_n r_n^2 = \text{Un Mínimo}$$

análogamente encontremos la primer derivada e igualemos a cero:

$$\begin{aligned} \frac{df(r)}{dr} &= 2P_1 r_1 + 2P_2 r_2 + \dots + 2P_n r_n = 0 \\ &= P_1 r_1 + P_2 r_2 + \dots + P_n r_n = 0 \end{aligned}$$

Substituyendo los valores para r_k de la ecuación 2 tenemos:

$$\begin{aligned} P_1 (\bar{Z} - M_1) + P_2 (\bar{Z} - M_2) + \dots + P_n (\bar{Z} - M_n) &= 0 \\ \bar{Z} (P_1 + P_2 + \dots + P_n) - (P_1 M_1 + P_2 M_2 + \dots + P_n M_n) &= 0 \end{aligned}$$

$$\bar{Z} \sum P_k - \sum P_k M_k = 0$$

$$\bar{Z} = \frac{\sum P_k M_k}{\sum P_k}$$

Que es el Promedio Pesado de las observaciones.

6.1.4 Observaciones Indirectas y Ecuaciones de Observación.

Se dice que una observación es indirecta cuando no se efectúa sobre la magnitud cuyo valor se desea averiguar sino que se hace sobre otra cantidad que es función de la deseada.

"Las ecuaciones que relacionan las incógnitas con las observaciones y sus correspondientes errores, se conoce como Ecuaciones de Observación. Estas ecuaciones responden a un modelo matemático establecido de antemano para indicar el tipo de relación entre incógnitas y observaciones..." (nota 1), es decir, sea X la cantidad observada y M el valor obtenido de la observación mediante una función $f(x)$, por lo tanto, $M=f(x)$ es una ecuación de observación.

Es común plantear ecuaciones de observación en donde intervienen dos o más incógnitas y por lo tanto se debe tener un número de ecuaciones de observación mayor al número de incógnitas para poder obtener los valores más probables de las incógnitas, para esto se establece un sistema lineal de "n" ecuaciones de observación con "u" incógnitas:

$$\begin{array}{r} a_1 X_1 + b_1 X_2 + c_1 X_3 + \dots + n_1 X_u = M_1 + v_1 \\ a_2 X_1 + b_2 X_2 + c_2 X_3 + \dots + n_2 X_u = M_2 + v_2 \\ \vdots \\ a_n X_1 + b_n X_2 + c_n X_3 + \dots + n_n X_u = M_n + v_n \end{array}$$

NOTAS:

1.- Rafael Sosa Torres, Ob. cit. p 191

6.1.5 Ajuste Paramétrico con Notación Matricial.

El sistema de ecuaciones de observación del inciso anterior puede escribirse matricialmente como:

$$[A] \cdot [X] = [L] + [V]$$

donde:

A = Matriz de coeficientes de 'n' renglones por 'u' columnas.

X = Vector de 'u' incógnitas.

L = Vector de 'n' observaciones.

V = Vector de 'n' residuos.

El vector de los residuos tiene entonces la expresión:

$$V = AX - L$$

La forma cuadrática a minimizar será ahora:

$$\sum V^2 = V^T V$$

donde V^T es el vector transpuesto de V, substituyendo y ordenando:

$$\begin{aligned} V^T V &= (AX-L)^T (AX-L) \\ &= ((AX)^T - L^T) (AX-L) \end{aligned}$$

recordando la propiedad de las matrices, producto de que la matriz resultante es la misma si se multiplican las

correspondientes matrices transpuestas en orden inverso, se tiene:

$$\begin{aligned} v^T U &= X^T A^T A X - X^T A^T L - L^T A X + L^T L \\ &= X^T A^T A X - 2L^T A X + L^T L \end{aligned}$$

Aplicando el Principio de Mínimos Cuadrados, es decir, derivando la forma cuadrática con respecto a cada una de las incógnitas e igualando a cero se tiene la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \frac{dv^T U}{dX} &= 2X^T A^T A \frac{dX}{dX} - 2L^T A \frac{dX}{dX} + 0 = 0 \\ &= X^T A^T A - L^T A = 0 \\ X^T A^T A &= L^T A \end{aligned}$$

o bien:

$$A^T A X = A^T L$$

premultiplicando cada término por la matriz $(A^T A)^{-1}$ tenemos:

$$\begin{aligned} (A^T A)^{-1} A^T A X &= (A^T A)^{-1} A^T L \\ \hat{X} &= (A^T A)^{-1} A^T L \end{aligned}$$

que también puede expresarse como:

$$\hat{X} = N^{-1} U$$

donde:

$$N = A^T A$$

$$U = A^T L$$

la obtención de los residuos:

$$\hat{V} = A\hat{X} - L$$

y las observaciones compensadas serán:

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

Análogamente para observaciones pesadas se tiene:

$$\hat{X} = N^{-1} U$$

donde:

$$N = A^T P A$$

$$U = A^T P L$$

Para obtener el grado de refinamiento o precisión absoluta (desviación estándar), hacemos uso de la varianza de peso unitario (nota 1) que es:

$$s_0^2 = \frac{V^T P V}{(n-u)}$$

donde:

NOTAS:

1.- Rafael Sosa Torres, Ob. cit. p 272

- S_0^2 = Varianza de peso unitario.
 V = Matriz de residuos.
 P = Matriz de pesos.
 n = Número de observaciones.
 u = Número de incógnitas.

Multiplicando la varianza de peso unitario por N^{-1} tenemos la matriz de varianzas y covarianzas M_{VVC} (nota 1):

$$M_{VVC} = (S_0^2)N^{-1}$$

Como la desviación estándar es igual a la raíz cuadrada de la varianza y las varianzas de las incógnitas se encuentran en la diagonal principal de la matriz de varianzas y covarianzas, podemos expresar la desviación estándar de las incógnitas de la siguiente manera:

$$\sigma_i = \sqrt{M_{VVC}(i,i)}$$

6.2 Ajuste utilizando un Programa de Cómputo.

El programa de cómputo para ajustar la red de bancos de nivel está elaborado en lenguaje BASIC para ser utilizado en la Computadora VAX 11-780 de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

NOTAS:

- 1.- Rafael Sosa Torres, Ob. cit. p. 272

El ajuste que efectúa el programa de cómputo, es un ajuste paramétrico con notación matricial utilizando el método de Mínimos Cuadrados, éste ajusta una red de "n" bancos de nivel de cota desconocida utilizando ecuaciones de observación.

La ecuación matricial que resuelve este programa es la siguiente:

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

\hat{X} = Vector de "n" bancos de nivel a ajustar.

A = Matriz de coeficientes de las ecuaciones de observación.

P = Matriz de Pesos.

L = Vector de Desniveles de las ecuaciones de observación.

también efectúa el cálculo de la Desviación Estándar de cada uno de los bancos de nivel.

El programa de cómputo está organizado en seis partes (ver diagrama 6.2.1) estas son:

- 1.- Lectura de condiciones. Se refiere a los siguientes datos:
 - Lugar donde se encuentra la red de bancos de nivel.
 - Nombre y cota del banco de nivel base.
 - Número de bancos de nivel a ajustar.
 - Número de ecuaciones de observación.

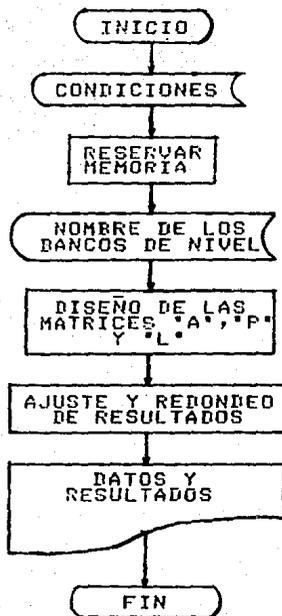


Diagrama 6.2.1

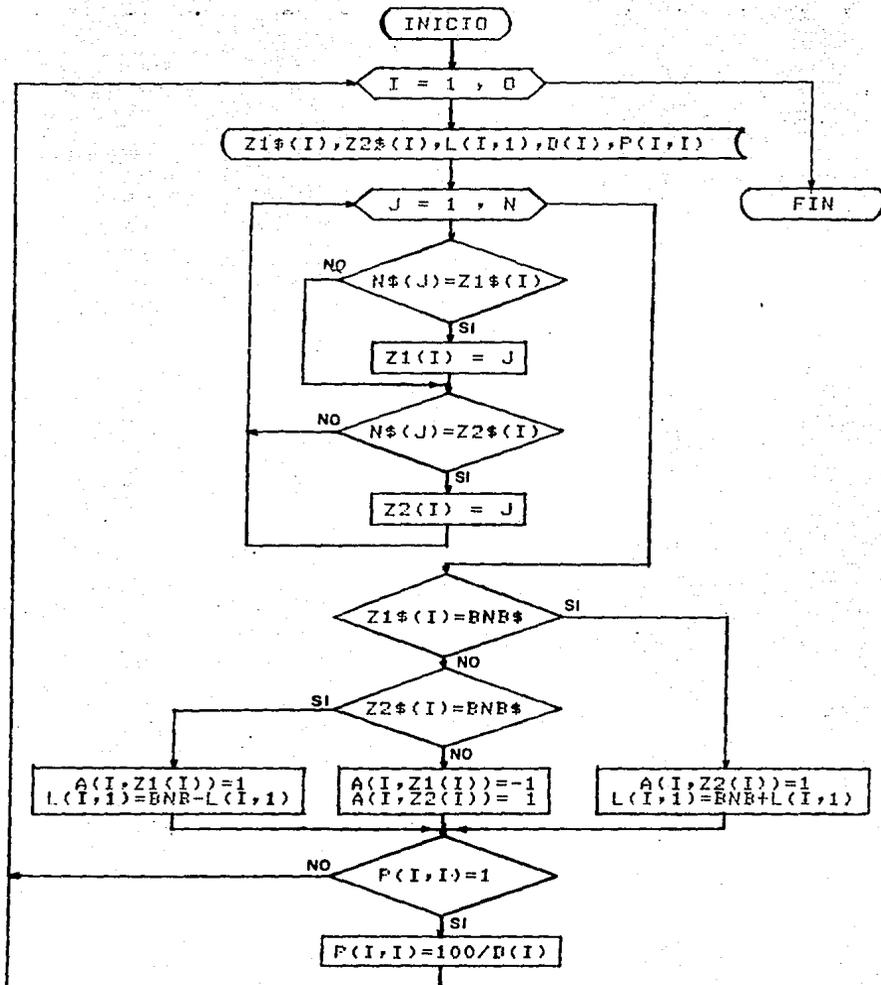


Diagrama 6.2.2

- Número de cifras decimales con que se requiere redondear las cotes de los bancos de nivel.
- Número de cifras decimales con que se requiere redondear las desviaciones estándar.

2.- Reservación de Memoria.

3.- Lectura de los nombres de los bancos de nivel a ajustar: Al efectuar la lectura de los nombres de los bancos de nivel a ajustar, a su vez se les asigna un número progresivo para el diseño de la matriz de coeficientes de las ecuaciones de observación.

4.- Lectura de datos y diseño de las matrices A, P y L (ver diagrama 6.2.2). Los datos de entrada por observación son:

- Nombre del banco de nivel de partida.
- Nombre del banco de nivel de llegada.
- Desnivel.
- Distancia.
- Peso.

A los bancos de nivel de partida se les asigna el coeficiente "-1" y a los bancos de nivel de llegada se les asigna un coeficiente "+1" en la matriz "A" de coeficientes de las ecuaciones de observación. El peso se lee directamente, pero si el peso es igual a 1, el programa le asigna un peso inversamente proporcional a la distancia desarrollada por la nivelación.

- 5.- Ajuste y redondeo de resultados. Una vez efectuado el ajuste, los resultados son redondeados por la regla del par a las cifras decimales ya establecidas.
- 6.- Impresión de resultados. Se imprimen los datos con que se ajustó la red, las cotas de los bancos de nivel con sus respectivas desviaciones estándar y los desniveles ajustados de las líneas de nivelación.

A continuación se presenta la codificación del programa de cómputo para ajustar la red de bancos de nivel.


```

450 A=X(I,1)
460 NC=DC
470 GOSUB 1400
480 X(I,1)=A
490 NEXT I
750 REM
760 REM --- IMPRESION DE DATOS Y RESULTADOS ---
770 GOSUB 1370
780 PRINT "Datos con que se ajusto la RED de NIVELACION"
790 PRINT
800 PRINT
810 PRINT "B.N. DE      E.N. DE      DESNIVEL  DISTANCIA      PESO"
820 PRINT TAB(10); "PARTIDA      LLEGADA"
830 PRINT
840 FOR I = 1 TO 0
850 PRINT TAB(11); Z1$(I);
860 PRINT TAB(24); Z2$(I);
870 PRINT USING "      ;L(I,1);
880 PRINT USING "      ;D(I);
890 PRINT USING "      ;P(I,I)
900 NEXT I
910 PRINT
920 PRINT
930 PRINT TAB(10); 0; " Series de OBSERVACION."
940 PRINT TAB(10); " Unidades en METROS."
950 PRINT CHR$(12)
960 GOSUB 1370
970 PRINT TAB(14); "Cotas y Desviaciones Estandar de los ";N;
980 PRINT
990 PRINT
1000 PRINT TAB(18); "BANCO DE      C O T A      DESVIACION"
1010 PRINT TAB(20); "NIVEL      ESTANDAR"
1020 PRINT
1025 PRINT TAB(20); RNB$; TAB(35);
1027 PRINT USING "      ;RNB
1030 FOR I = 1 TO N
1040 PRINT TAB(20); N$(I); TAB(35);
1050 PRINT USING "      ;X(I,1);
1052 PRINT " +/-      ;DE(I)
1060 PRINT USING "      ;DE(I)
1070 NEXT I
1080 PRINT
1090 PRINT
1100 PRINT
1110 PRINT TAB(10); "Las cotas se redondearon a ";DC; " Cifras "
1120 PRINT TAB(10); "Desviaciones Estandar a ";DD; " Cifras "
1130 PRINT TAB(10); "Resla del PAR."
1140 PRINT CHR$(12)
1150 GOSUB 1370
1160 PRINT TAB(25); "TABLA DE DESNIVELES AJUSTADOS"
1170 PRINT
1180 PRINT
1190 PRINT
1200 PRINT TAB(20); "B.N. DE      R.N. DE      DESNIVEL"
1210 PRINT TAB(20); "PARTIDA      LLEGADA      AJUSTADO"
1220 PRINT
1230 PRINT
1240 FOR I = 1 TO 0
1250 IF Z1$(I)=RNB$ THEN DA=X(Z2(I),1)-RNB \ GOTO 1260
1250 IF Z2$(I)=RNB$ THEN DA=RNB-X(Z1(I),1) \ GOTO 1260

```

```

1255 DA=X(Z2(I),1)-X(Z1(I),1)
1260 PRINT TAB(21);Z1*(I);
1270 PRINT TAB(37);Z2*(I);
1280 PRINT TAB(51);
1290 PRINT USING "      " ;DA
1300 NCXT I
1310 PRINT
1320 PRINT
1330 PRINT
1340 PRINT TAB(10);"Los desniveles AJUSTADOS se redondearon "
1350 PRINT TAB(10);"decimales por la REGLA del PAR."
1360 GOTO 2000
1370 PRINT
1380 PRINT
1390 PRINT
1400 PRINT
1410 PRINT
1420 PRINT
1430 PRINT "          FACULTAD DE INGENIERIA"
1440 PRINT "          INGENIERIA TOPOGRAFICA Y GEODESICA"
1450 PRINT
1460 PRINT
1470 PRINT "          Ajuste de una Red de Nivelacion de Precision"
1480 PRINT "          por el metodo de Minimos Cuadrados"
1485 PRINT
1490 PRINT
1500 PRINT TAB(10);"Lusar : ";COM#
1504 PRINT
1508 PRINT
1510 PRINT
1520 RETURN
1600 REM --- SUBROUTINA DE REDONDEO ---
1610 B=K=L=0
1620 Q=1
1630 IF A<0 THEN Q=-1
1640 A=A*Q*10NC
1650 B=INT(A)
1660 K=A-B
1670 IF K<.5 OR K>.6 THEN A=INT(A+.5)*Q/10NC \ GOTO 1720
1680 K=B/10
1690 L=(K-INT(K))*5
1700 IF L=INT(L) THEN A=B*Q/10NC \ GOTO 1720
1710 A=(B+1)*Q/10NC
1720 RETURN
2000 END

```

6.3 Determinación de las Cotas Calculadas de la Red y Desniveles Ajustados.

Para integrar la red de bancos de nivel al Complejo Petroquímico Morelos es necesario que los bancos de nivel tengan cotas preliminares establecidas por el cálculo de un ajuste matemático. El banco de nivel base para el ajuste es el banco de la Glorieta Sur del Complejo cuya cota se estableció con las nivelaciones hechas de la planta de Etileno del Complejo Petroquímico Fajaritos a la Mojonera 90, y de ésta a la Glorieta Sur, de la siguiente manera:

Línea	Desnivel
Planta de Etileno - Mojonera 90	+18.58262 m
Mojonera 90 - Glorieta Sur	-15.61448 m

Planta de Etileno - Glorieta sur	+ 2.96814 m
Cota de la planta de Etileno	+ 8.630
Desnivel	+ 2.968

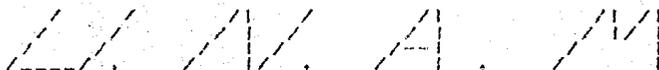
Cota de la Glorieta Sur	+11.598

Para realizar el ajuste de la red de bancos de nivel, los datos se introducen como se muestran en la tabla 6.3.1 en un archivo de datos, el cual es asignado como datos de entrada en la corrida del programa y los resultados están en las tablas 6.3.2, 6.3.3 y 6.3.4.

COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS

G.SUR,11.598,14,30,3,3
 I
 II
 III
 IV
 V
 VI
 VII
 VIII
 IX
 X
 XI
 XII
 XIII
 XIV
 XV
 IX,X,1.64901,380.8,1
 X,XI,0.76485,537.4,1
 XI,VI,6.08818,557.5,1
 VI,VII,-1.98709,524.1,1
 VIII,VII,-5.03404,544.3,1,1
 VIII,IX,-1.48422,546.3,1,1
 I,G.SUR,-5.48182,588.2,1
 G.SUR,VIII,4.41204,1083.6,1
 VIII,I,1.07235,627.3,1
 I,II,5.97663,563.3,1
 II,VIII,-7.04666,481.3,1
 VIII,X,0.16956,811.5,1
 X,VII,4.85855,573.2,1
 VII,II,2.01207,400.2,1
 II,III,-0.03043,473.8,1
 III,VI,0.01476,463.6,1
 VI,X,-6.85717,863.8,1
 XI,III,4.09534,962.2,1
 VIII,III,1.97471,492.9,1
 III,IV,0.0912,522.2,1
 IV,V,-2.01655,417.6,1
 V,XII,-4.12673,571.3,1
 XII,XI,-0.02333,714.9,1,1
 XI,V,4.15366,885.9,1
 V,VI,1.94368,522.8,1
 VI,IV,0.07574,447.6,1
 IV,IX,-6.55157,843.4,1
 IX,XIII,0.15267,126.8,1
 XIII,XIV,0.12233,196.4,1
 XIV,X,-1.04839,220.4,1

Tabla 6.3.1



FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA TOPOGRAFICA Y GEODESICA

Ajuste de una Red de Nivelacion de Precision
por el metodo de Minimos Cuadrados

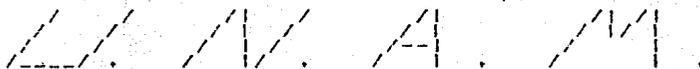
Lugar : COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS

Datos con que se ajusta la RED de NIVELACION

B.N. DE PARTIDA	B.N. DE LLEGADA	DESNIVEL	DISTANCIA	PLSO
IX	X	1.64901	380.8	0.2626
X	XI	0.72485	377.4	0.1861
XI	VI	6.08818	323.3	0.1744
VI	VII	-1.98709	424.1	0.1908
VII	VIII	-1.03404	331.1	0.2315
VIII	IX	4.48420	346.3	0.1830
I G.SUR	G.SUR	-1.51822	558.2	0.1700
VIII	VIII	4.41204	333.6	0.0923
I	I	1.07233	562.7	0.1594
II	II	-0.97663	463.3	0.1775
III	VIII	0.04660	481.1	0.2078
X	X	0.16956	111.1	0.1233
VII	VII	0.85555	373.3	0.1744
II	III	-0.01207	400.0	0.4491
III	VI	-0.03043	477.6	0.1111
VI	X	-6.89571	466.3	0.1158
VII	VII	1.41744	480.0	0.2078
VII	III	0.97414	333.3	0.1744
IV	IV	-0.01573	490.0	0.1594
IV	IV	0.00000	440.0	0.0000
XII	XII	-10.00000	555.5	0.0000
XI	VI	0.15555	490.0	0.1594
X	VI	1.99444	490.0	0.1594
VI	IV	0.07777	490.0	0.1594
VII	IX	-6.89571	466.3	0.1158
XI	XIII	0.11111	480.0	0.2078
XIII	XIV	0.00000	480.0	0.2078
XIV	X	-1.04444	380.8	0.2626

30 Series de OBSERVACION.
Unidades en METROS.

Tabla 6.3.2



FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA TOPOGRAFICA Y GEODESICA

Ajuste de una Red de Nivelacion de Precision
por el metodo de Minimos Cuadrados

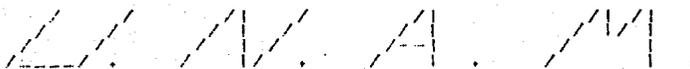
Lugar : COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS

Cotas y Desviaciones Estandar de los 14 Bancos de Nivel

BANCO DE NIVEL	C O T A	DESVIACION ESTANDAR
G.SUR	11.5980	
I	17.0800	+/- 0.0020
II	23.0550	+/- 0.0030
III	23.0210	+/- 0.0030
IV	23.1110	+/- 0.0040
V	21.0940	+/- 0.0040
VI	23.0350	+/- 0.0030
VII	21.0440	+/- 0.0030
VIII	16.0100	+/- 0.0030
IX	14.5280	+/- 0.0030
X	16.1800	+/- 0.0030
XI	16.9450	+/- 0.0030
XII	16.9680	+/- 0.0040
XIII	17.1030	+/- 0.0040
XIV	17.2280	+/- 0.0040

Las cotas se redondearon a 3 Cifras Decimales y las Desviaciones Estandar a 3 Cifras Decimales por la Regla del PAR.

Tabla 6.3.3



FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA TOPOGRAFICA Y GEODESICA

Ajuste de una Red de Nivelacion de Precision
por el metodo de Minimos Cuadrados

Lugar : COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS

TABLA DE DESNIVELES AJUSTADOS

B.N. DE PARTIDA	B.N. DE LLEGADA	DESNIVEL AJUSTADO
IX	X	1.6520
X	XI	0.7650
XI	VI	4.0900
VI	VII	-1.9910
VII	VIII	-5.0340
VIII	IX	-1.4820
I	G.SUR	-3.4820
G.SUR	VIII	4.4120
VIII	I	1.0700
I	II	3.9750
II	VIII	-7.0450
VIII	X	0.1700
X	VII	4.8640
VII	II	0.0110
II	III	-0.0340
III	VI	0.0140
VI	X	-6.8550
X	VII	4.0990
VII	III	1.9770
III	IV	0.0900
IV	V	-2.0170
V	XII	-4.1260
XII	XI	-0.0230
XI	V	4.1490
V	VI	1.9410
VI	IV	0.0760
IV	IX	-4.5160
VII	XIII	0.1580
XI	XIV	0.1250
XIII	XIV	-1.0480
XIV	X	

Los desniveles AJUSTADOS se redondearon a 3 cifras decimales por la REGLA del PAR.

Tabla 6.3.4

7 INTEGRACION DE LA RED DE NIVELACION.

El trabajo de integración de la red de bancos de nivel al Complejo Petroquímico Morelos, consiste en determinar un plano de comparación de los niveles actuales del Complejo para que a éste se le ajuste el plano de comparación de la red establecido por el banco de nivel de la Glorieta Sur.

Para determinar el plano de comparación de los niveles actuales del Complejo es necesario efectuar nivelaciones de marcas y bancos del mismo a los bancos de la red.

7.1 Nivelaciones entre marcas y bancos del Complejo y bancos de nivel de la red.

Estas nivelaciones se efectuaron de ida y regreso para determinar el error de cierre y ver si están dentro de tolerancia; la tolerancia se tomó de acuerdo a la siguiente cita: "En todas las secciones de nivelación que tengan 0.5 km o menos de longitud, se considerará como comprobación satisfactoria una discrepancia no mayor de 2.8 mm entre las nivelaciones de ida y vuelta, haciéndose caso omiso de la fórmula $4\text{mm} \sqrt{K}$, Esta tolerancia debe considerarse como aplicable a secciones cortas de dos o más estaciones de instrumento y no a secciones de una sola estación. En casos de una estación la comprobación entre las corridas no deben exceder de 1mm....." (nota 1), los resultados de las nivelaciones son las siguientes:

NOTAS:

1.- Tesis Profesional de Germán García González, "Nivelación Geodésica de Primer Orden", UNAM, 1976. P. 80

DE	A	DESNIVEL	TOLERANCIA	ERROR
M. Esquina Registro	I	0.70032	2.80	-2.11
M. Rack Sur	II	-1.10036	2.80	+1.74
M. P. Etileno	III	0.06772	1.00	-0.45
M. P. Acrilonitrilo	IV	1.12590	2.80	+2.72
M. Quemadores	V	-3.60022	2.80	+0.45
M. P. Acrilonitrilo	VI	-0.88217	2.80	+1.94
M. Rack Centro	VII	1.08836	1.00	+0.82
M. P. Fraccionadora	VIII	-0.90410	1.00	-0.14
M. Columna	IX	0.60494	1.00	+0.13
M. P. Oxiseno	X	0.72802	1.00	-0.35
M. Columna	XI	-1.49098	2.80	-1.02
M. Rodesa	XII	0.24325	1.00	+0.82
M. Servicio Médico	XIII	-0.83655	1.00	+0.82

M. = Marca en....
P. = Planta

El cálculo de las cotas actuales de los bancos de nivel de la red es el siguiente:

MARCA	COTA	DESNIVEL	BN	COTA
M. Esquina Registro	16.400	0.701	I	17.101
M. Rack Sur	24.200	-1.100	II	23.100
M. P. Etileno	23.000	0.068	III	23.068
M. P. Acrilonitrilo	24.000	1.126	IV	25.126
M. Quemadores	24.733	-3.600	V	21.133
M. P. Acrilonitrilo	22.000	-0.882	VI	21.118
M. Rack Centro	22.000	1.088	VII	23.088
M. P. Fraccionadora	22.000	-0.904	VIII	21.096
M. Columna	14.000	0.605	IX	14.605
M. P. Oxiseno	15.500	0.728	X	16.228
M. Columna	18.500	-1.491	XI	17.009
M. Rodesa	16.800	0.243	XII	17.043
M. Servicio Médico	18.000	-0.837	XIII	17.163

M. = Marca en....
P. = Planta

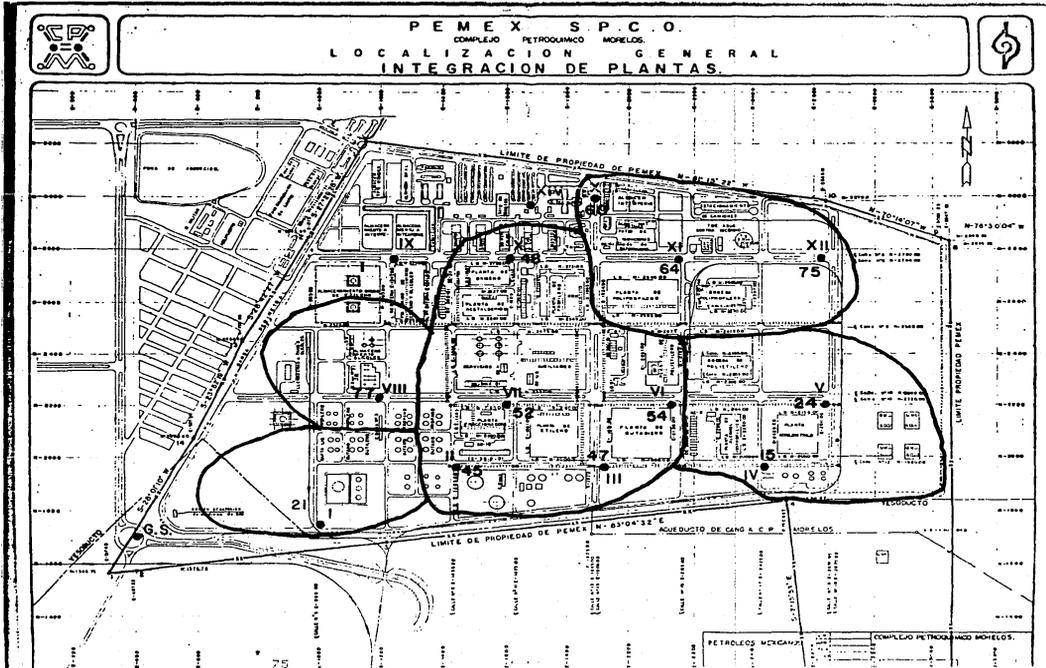
7.2 Determinación del Plano de Comparación de los Niveles Actuales del Complejo.

Para determinar el plano de comparación de los niveles actuales del Complejo se hace una diferencia entre las cotas actuales y las cotas calculadas de los bancos de nivel de la red, una vez obtenidas las diferencias se puede calcular el promedio de ellas y así obtener la diferencia entre el plano de comparación de los niveles actuales y el plano de comparación definido por la cota de la Glorieta Sur, estas diferencias son:

BN	COTA ACTUAL	COTA CALCULADA	DIF. mm
I	17.101	17.080	+21
II	23.100	23.055	+45
III	33.068	33.021	+47
IV	33.126	33.111	+15
V	11.133	11.094	+39
VI	11.118	11.094	+24
VII	23.089	23.035	+54
IX	14.605	14.528	+77
X	16.228	16.180	+48
XI	17.009	16.945	+64
XII	17.043	16.968	+75
XIII	17.163	17.103	+60

Como se puede observar las diferencias entre las cotas actuales y las cotas calculadas de los bancos de nivel de la red no se asemejan a una constante y teniendo en cuenta que el plano de comparación de la Glorieta Sur esta bien definido, concluimos que los niveles actuales del Complejo no pertenecen a un plano de comparación, sino a varios (Plano 7.2, en este plano se le anotó a cada banco de nivel el error encontrado y así delimitar los diferentes planos de comparación), por lo tanto, queda comprobada la hipótesis de este trabajo de investigación que es "Los niveles del Complejo Petroquímico Morelos no son Consruentes entre si".

Plano 7.2



Como la información obtenida por las nivelaciones no es suficiente para definir los varios planos de comparación de los niveles actuales, no se puede terminar el trabajo de integración de la red de bancos de nivel al Complejo. En el capítulo siguiente se explican los procedimientos a seguir para la terminación de este trabajo.

8 CONCLUSIONES.**Indicaciones para la Terminación de este Trabajo.**

Como en el capítulo anterior se comprobó la Hipótesis de este trabajo de investigación que es "Los niveles del Complejo Petroquímico Morelos no son Consruentes entre sí" no se pudo concluir el trabajo de Integración de una Red de Nivelación de Precisión en el Complejo Petroquímico Morelos, para la terminación de este trabajo se presentan las siguientes indicaciones:

- 1.- Efectuar por lo menos 10 nivelaciones de precisión por manzana entre marcas de los niveles actuales y bancos de nivel de la red.
- 2.- Determinar un plano de comparación por manzana como se pretendía hacer en el capítulo 7 para todo el Complejo.
- 3.- Ajustar el plano de comparación de la red de nivelación al plano de comparación que abarque más manzanas.
- 4.- Asignar un parámetro de transformación a los planos de comparación de las manzanas restantes.

Al efectuar las nivelaciones por manzana se debe tener cuidado para no escoder marcas de niveles actuales que pudieran haber sido afectadas por algún asentamiento.

Las indicaciones anteriores para la terminación de este trabajo pertenecen a un método estadístico y de acuerdo a las condiciones de los niveles actuales, este es el mejor método para la terminación de este trabajo.

Critica.

La siguiente critica va dirigida a todas aquellas personas que de alguna manera sus actividades estén relacionadas con la Topografía y especialmente a las autoridades de Petróleos Mexicanos para que sea tomada en cuenta para la construcción de sus instalaciones.

Petróleos Mexicanos, al menos en el Complejo Petrolímico Morelos, no cuenta con Normas Técnicas para Levantamientos Topográficos de Precisión, esto motiva que en los levantamientos topográficos los errores accidentales sean más ocurrentes y por lo tanto, traen como consecuencia pérdidas económicas en la repetición de trabajos mal hechos por errores.

Para tener una idea de la magnitud de este problema citaré un caso ocurrido en dicho Complejo, que sin tener cifras y datos exactos representa una pérdida económica considerable. Al hacer la comparación de los niveles actuales y los niveles calculados del Complejo, se encontró un error promedio de 5 cm, esto es, que los niveles actuales se encuentran 5 cm arriba de lo proyectado; considerando que el área total en números redondos es de 380 hectáreas, y suponiendo que el 50% esto es, 1,9 millones de m², sea de corte, que multiplicados por 5 cm da un total de 95,000 m³ que no se cortaron y que indudablemente el contratista cobra.

Como vuelvo a repetir las cifras y los datos son aproximados pero nos dan una idea de la magnitud de este problema ocasionado por no hacer trabajos toposráficos de precisión o por no utilizar a Ingenieros Topógrafos para la supervisión de los levantamientos.

Lo anterior es un problema altimétrico pero si se toma en cuenta también los errores cometidos en el control horizontal, el problema ocasionado por no utilizar Ingenieros Topógrafos en la supervisión se agrava aun más.

Por otro lado, en el Complejo nadie sabía utilizar el Micrómetro de caras Planoparalelas, recursos que son desaprovechados por la falta de personal calificado, es decir, falta de Ingenieros Topógrafos y como consecuencia de esto, es de dudar el correcto y delicado mantenimiento que requiere el instrumental toposráfico.

Recomendaciones.

Por la crítica anterior se recomienda urgentemente actualizar las Normas Técnicas para Construcción " Trazo y Niveles ", (norma 3.108.01) de Petróleos Mexicanos y crear Normas Técnicas para Levantamientos Toposráficos de Precisión en Petróleos Mexicanos, mientras tanto utilizar las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos editadas por SPP publicadas en el diario oficial el 10. de abril de 1985.

A continuación se hacen unas recomendaciones que se deben tener en cuenta una vez terminado el trabajo de Integración de la Red.

- Comprobar la cota del banco de nivel III periódicamente.
- Que todas las nivelaciones se hagan partiendo de los bancos de nivel de la Red.
- La construcción y nivelación de los monumentos de los bancos de nivel números 2, 3, 4, 5, 6, 16, 25, y 26 del plano 3.2.
- Lisar la Red del Complejo a la Red Geodésica Nacional.

Bibliografía

- Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos, SPP publicadas en el diásio oficial del 10. de Abril de 1985, pp. 13 - 43.
- Normas Técnicas para Construcción " Trazo y Niveles " (norma 3.108.01), Petróleos Mexicanos, 1975, 1a. Edición.
- SOSA TORRES, R: " Cálculo de Ajustes en Ingeniería Topográfica ". Colegio de Ingenieros Topógrafos, México, 1985.
- Apuntes de Computación Aplicada a la Ingeniería Topográfica y Geodésica, Inss. ANTONIO HERNANDEZ N. y MARIO A. REYES I., Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1985.
- Tesis Profesional de GERMAN GARCIA GONZALEZ: " Nivelación Geodésica de Primer Orden ". Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1976.
- MURRAY R., SPIEGEL: " Estadística ". McGraw - Hill, México, 1979, p 354, (serie Schaum).

- MEDINA PERALTA, M.: " Geodesia Geometrica ", Ed. Limusa, México, 1978.
- HOSMER, GEORGE LEONAR: " Geodesy ", New York, 1974.