



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

TRABAJOS TOPOGRAFICOS EN CANTERAS Y
YACIMIENTOS DE MINERALES A CIELO ABIERTO.

T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA

p r e s e n t a :

BENJAMIN GABRIEL JARAMILLO MORALES

México, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



VENERABLE CATEDRÁTICO
AY. 1978

FACULTAD DE INGENIERIA
EXÁMENES PROFESIONALES
60-1-312

Al Pasante señor BENJAMIN G. JARAMILLO MORALES
Presente.

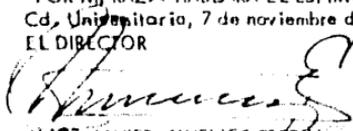
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a -
continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Pro-
fesor Carlos Cañón Amaro, para que lo desarrolle como tesis en su --
Exámen Profesional de Ingeniero Topógrafo y Geodesta.

"TRABAJOS TOPOGRAFICOS EN CANTERAS Y YACIMIENTOS DE
MINERALES A CIELO ABIERTO"

- I. Rocas minerales y energéticos
- II. Estudios preliminares a una explotación
- III. Métodos topográficos de control y sus comprobaciones
- IV. Levantamiento topográfico por aerofotogrametría

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Unid. 17/78,
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

Cd.
JJG/OBJJ/mdr.-

I N D I C E

1 ROCAS, MINERALES Y ENERGETICOS

1.1 Las rocas en nuestro planeta

1.1.1 El estado natural de las rocas

1.2 Los minerales

1.2.1 Su identificación

1.2.2 Los recursos minerales de nuestra tierra

1.2.3 Depósitos minerales

1.2.4 Exploración en búsqueda de depósitos minerales.

1.3 Energía del mañana

1.3.1 Minerales de Uranio

1.4 - Resumen

2 ESTUDIOS PRELIMINARES A UNA EXPLOTACION

2.1 Estudios socio económicos

2.1.1 Análisis del mercado

2.2 Estudios geológicos

2.3 Estudios legales

2.3.1 Reglamento para la explotación de materiales para construcción en el D. F.

2.4 Conclusiones

MÉTODOS TOPOGRÁFICOS DE CONTROL Y SU COMPROBACIÓN

- 3.1 Levantamiento de poligonales
 - 3.1.1 Medidas angulares
 - 3.1.2 Comparación de tres métodos de levantamiento
 - 3.1.3 Métodos para dibujar una poligonal
- 3.2 Nivelación
 - 3.2.1 Comprobación
 - 3.2.2 Tolerancias
 - 3.2.3 Compensación de cotas
 - 3.2.4 Compensación de una red de nivelación
 - 3.2.5 Compensación por Aproximaciones Sucesivas
 - 3.2.6 Propiedad de las redes
 - 3.2.7 Ejemplo
- 3.3 Equipo de campo
 - 3.3.1 El teodolito T-2
 - 3.3.2 Mira Invar
- 3.4 Determinación del Azimut Astronómico
 - 3.4.1 Método de observación a la estrella Polar en cualquier momento.
 - 3.4.2 Ejemplo
- 3.5 Control semanal de una explotación por medio de prismas.
- 3.6 Configuración
 - 3.6.1 Trazo de secciones

Introducción

4.1 Características

- 4.1.1 Fotogrametría aérea y terrestre
- 4.1.2 Clasificaciones según la posición del eje óptico.
- 4.1.3 Escala
- 4.1.4 Recubrimiento

4.2 Informaciones generales

- 4.2.1 Características de la película
- 4.2.2 Buenos resultados métricos
- 4.2.3 Algunas dificultades atmosféricas y físicas.

4.3 Ventajas y desventajas de este método

4.4 Orientación y plan de vuelo

- 4.4.1 Orientación interior
- 4.4.2 Orientación relativa
- 4.4.3 Pasos para la planeación
- 4.4.4 Ejemplo

4.5 Control terrestre

- 4.5.1 Puntos de control
- 4.5.2 Marcas artificiales

4.6 Rectificación y restitución

- 4.6.1 Rectificación
- 4.6.2 Restitución
- 4.6.3 Clasificación de instrumentos

4.7 Resumen

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

La Historia de la Topografía es larga e interesante, en ella se han observado diferentes etapas de evolución, paralelas al desarrollo del hombre civilizado, en éstas, se ha observado la aplicación de diferentes técnicas, en las cuales se observan los diversos conocimientos científicos que el saber humano va poniendo al alcance del hombre.

El hombre se ha valido para el estudio de la Tierra, desde los métodos más primitivos y elementales aplicados desde la antigüedad en Egipto y Mesopotamia, hasta los más sofisticados y refinados de la actualidad, tal como son los Rayos Laser o los instrumentos electrónicos de precisión, de uso frecuente en la actualidad, todos los que han convertido a la Ciencia en una metodología eficiente, precisa y amplia.

El objeto de la Topografía es el control gráfico de la superficie y configuración terrestre. La localización de puntos de control y líneas que sirvan de referencia fija a otros estudios. Además de otros campos de actividades, los que se ven enriquecidos en perspectivas con el debido aprovechamiento de el adelanto en conocimientos científicos que nos proporciona la época actual.

Como resultado del avance de la Topografía, ha sido posible una amplia investigación de la riqueza de los recursos naturales de la tierra, y también auxiliar en la administración de los beneficios de ella, como son sus selvas, bosques, etc.

Como ejemplo de lo anterior, está la aplicación de los estudios por Fotogrametría que se hace de los recursos geológicos, el cálculo y control del volumen de explotación de las zonas madereras. Una más eficiente y económica planeación de las redes de carreteras. Y así un buen número de ejemplos, en todos los cuales, la Topografía es una útil herramienta del investigador.

En el tema que en esta Tesis se desarrolla, se describen procedimientos Topográficos, que se pueden emplear para el control de explotaciones en yacimientos minerales superficiales, en extracciones de arena, cantera, piedra, etc.

Es posible el control Topográfico en las obras de explotación, mediante la realización de planos que reúnan toda la información necesaria referente al avance de las obras.

Puesto que las condiciones de explotación, así como el tipo de material que se extraiga dan diferentes características físicas, de aspecto y consistencia a las paredes de la zona, se trata en esta Tesis de describir procedimientos generales, para adaptarlos más o menos fácilmente a cualesquier condiciones de terreno que se presenten.

El material documental primario de esta Tesis, proviene de la realización de unos trabajos de Topografía realizados entre los años de 1975 a 1977, en terrenos de Ciudad Universitaria, donde al Sur de sus linderos, propiedad de la U. N. A. M., se rentan seis lotes en concesión a unos inversionistas privados, para que en forma particular explotaran la extracción de piedra basáltica que forma una corteza más o menos homogénea de aproximadamente 20 metros de espesor en toda la superficie de la Ciudad Universitaria.

Estos particulares explotaban el material por su cuenta, de lo

cual tenían que rendir informes y pagar derechos a la UNAM según el volumen de material que extrajeran. Estos reportes periódicos contenían información para su control y administración.

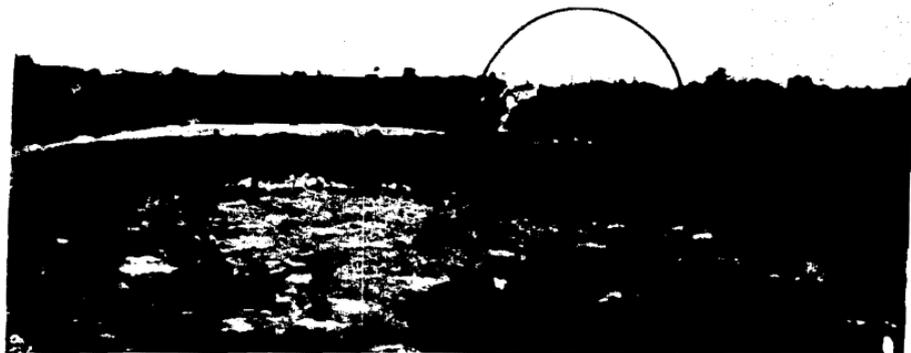
A casi ocho años de avance en dicha explotación se hizo necesario hacer una revisión del volumen total extraído, calculado desde el inicio de la concesión. El objetivo de ésta, era comprobar la veracidad de los totales de volúmenes reportados por los concesionarios, ya que se dudaba de la autenticidad de ellos por ciertas disparidades entre los cálculos de la UNAM y de los concesionarios. Esto hizo necesario realizar uno por uno los levantamientos de los lotes para detectar en cada uno las irregularidades en los resultados finales.

Esto dio origen a un levantamiento topográfico de regular magnitud, ya que los lotes en concesión, se localizaban contiguos uniformemente, distribuidos en un área de 1200 x 400 metros cada lote, con lo que se obtiene un total de área para los seis lotes de 2 880 000 m².

Para tener otra idea más de las proporciones de los levantamientos, mencionaremos que se calculó una extracción promedio de material por más de 1 000 000 de m³ para cada concesión contados desde su inicio hasta el día de la revisión, durante casi ocho años de explotación continua.

Por lo anterior; fuera que se requiera un levantamiento de comprobación para cada lote, o un levantamiento global, este sería mediante la realización de un proyecto de considerables proporciones.

Esto dio origen a un proyecto de levantamiento que requería ser realizado por medios topográficos o fotogramétricos, pero que reportara resultados seguros y confiables.



CANTERA CERO



Es de subrayar aquí algunas características importantes de este trabajo:

- 1.- La circunstancia de lo avanzado en las obras de extracción y no contar con un apoyo topográfico que estuviera referido en el inicio de la obra.
- 2.- El objetivo del trabajo era la comprobación, por lo que los resultados debían ser precisos.

Este levantamiento para el cálculo del volumen, lo podemos realizar por dos métodos diferentes, cada uno de los cuales se describe, teniendo cada uno ventajas de tipo técnico o económicas. Mencionaremos en seguida las más importantes:

Primera.- Uno de estos métodos es más tradicional, consiste en el trazo de secciones, entre las cuales se forman volúmenes parciales en forma de prismas irregulares, de los cuales se obtiene un valor total por sumatoria.

Segunda.- En el método de levantamiento por fotogrametría, obtenemos resultados más rápidamente y aparentemente más objetivos. Pero tienen la desventaja de volverse antieconómicos a medida que se reduce el área por investigar, debido al alto costo de alquiler de los instrumentos necesarios.

B. G. JARAMILLO MORALES.

C A P I T U L O 1

ROCAS, MINERALES Y ENERGETICOS

1.1 Las rocas en nuestro planeta

1.1.1 El estado natural de las rocas

1.2 Los minerales

1.2.1 Su identificación

1.2.2 Los recursos minerales de nuestra tierra

1.2.3 Depósitos minerales

1.2.4 Exploración en búsqueda de depósitos minerales

1.3 Energía del mañana

1.3.1 Minerales de Uranio

1.4 Resumen

C A P I T U L O 1

ROCAS, MINERALES Y ENERGETICOS

1.1 Las rocas en nuestro planeta

El estudio de los materiales que forman la esfera terrestre, ha dado origen al estudio de la ciencia llamada Geología, la cual está en posibilidades de estudiar un amplio campo de actividades y recursos.

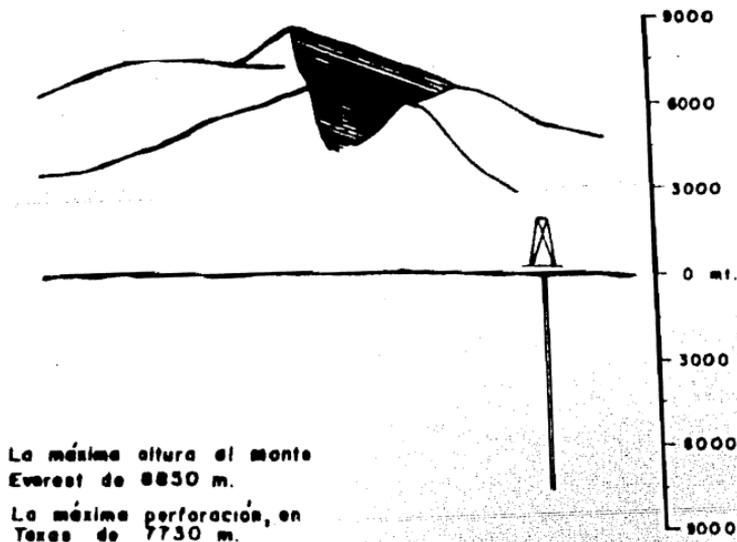
Su estudio es muy importante, porque los hombres han llegado a depender grandemente de las rocas para el desarrollo de su actual civilización industrial. Además es necesario analizar la íntima relación que existe entre el medio y los seres vivientes, de la cual frecuentemente hay creación y transformación de rocas, como por ejemplo, observemos el proceso del suelo, que es la base de la vida en la Tierra, también observemos la forma en que los minerales de las aguas marinas se disuelven lentamente de las rocas, produciendo las sales de los mares y los lagos y con ello haciendo que la vida marina sea posible.

Los científicos saben poco acerca de las rocas que yacen en las profundidades de la Tierra, ya que nuestro conocimiento directo de éstas es limitado, conociéndose más directamente las localizadas en la corteza de nuestro mundo.

Aun mismo, es difícil su definición y la de los elementos químicos y minerales que las forman. Pero aun a pesar de esto, ha sido necesario avanzar en su estudio, ya que se requiere el mejoramiento de sus aplicaciones, tal como ha

sido desde que el hombre primitivo las usó como herramientas y armas.

La historia de las rocas está estrechamente relacionada con el origen de la Tierra y el misterio de su formación está todavía por desentrañarse, aunque es aceptado que la edad del Sistema Solar es de poco más de 4,000,000,000 de años. Ha sido posible conocer esto midiendo el contenido relativo de Uranio en las rocas el que se transforma lenta, pero continuamente en Plomo. Cuando aproximadamente una cuarta parte de el Uranio de una roca se ha transformado, se calcula que han transcurrido 2,000,000,000 de años, como sucede en el caso de las cordilleras del Himalaya.



Toda la materia que se conoce en la Tierra está formada por más de 103 elementos, de los cuales, los 30 más ligeros, constituyen el 99% de ella, y de los 103 elementos el Hidrógeno y el Helio constituyen, casi toda la materia del Universo.

1 Hidrógeno	H	16 Azufre	S
2 Helio	He	17 Cloro	Cl
3 Litio	Li	18 Argón	A
4 Berilio	Be	19 Potasio	K
5 Boro	B	20 Calcio	Ca
6 Carbono	C	21 Escandio	Sc
7 Nitrógeno	N	22 Titanio	Ti
8 Oxígeno	O	23 Vanadio	V
9 Fluor	F	24 Cromo	Cr
10 Neón	Ne	25 Manganeso	Mn
11 Sodio	Na	26 Hierro	Fe
12 Magnesio	Mg	27 Cobalto	Co
13 Aluminio	Al	28 Níquel	Ni
14 Silicio	Si	29 Cobre	Cu
15 Fósforo	P	30 Zinc	Zn

Las cien o más clases de átomos, se pueden combinar en millones de modos distintos, para en cada caso, formar moléculas diferentes. Estas moléculas forman compuestos químicos que se encuentran en estado natural en la corteza terrestre. Cuando estas sustancias químicas presentan una estructura definida de cristales y no provienen o constituyen seres vivos, se les denomina minerales.

Sólo unas cien clases distintas de minerales son comunes y están compuestas de Oxígeno, Silicio, Aluminio, Hierro, Calcio, Sodio, Potasio y Magnesio, los cuales combinados entre sí, constituyen casi el 99% de la corteza de la Tierra.

Don grupos de minerales son importantes, los óxidos y los silicatos; de los primeros, el más conocido es el dióxido de silicio, mejor conocido como cuarzo, que es el mineral más abundante de la corteza terrestre.

Ya sea en forma de silicio o en silicatos, los elementos silicio y oxígeno constituyen el 83% de la corteza terrestre. Otro 16% del total lo constituyen metales y el restante 1% lo constituyen otros seis elementos entre los cuales se cuentan los metales preciosos.

1.1.1 El estado natural de las rocas

Para los geólogos, la roca es el material sólido y natural que constituye la tierra, sin incluir los materiales fabricados por el hombre, y excluyendo el aire y otros gases, los océanos, los ríos y lagos y los líquidos. También es una roca todo material sólido a la temperatura ambiente, lo cual incluye el hielo de los polos que forman capas de 3 500 m de espesor, las que se estudian por los mismos procesos que las capas rocosas.

Entendamos por sólido aquella sustancia que no es líquida ni gaseosa, por lo que se incluyen también en la definición: las arenas del desierto, las cenizas volcánicas y el lodo de los pantanos, todos los cuales son rocas.

Las rocas se clasifican según su origen en orgánicas e inorgánicas. La mayoría de las rocas provienen de materiales que nunca han tenido vida y una minoría procede de animales o plantas. Como ejemplo tenemos el carbón, el asfalto y los depósitos

de petróleo, el cual se encuentra contenido en los poros de ciertas rocas.

Otros ejemplos lo constituyen las rocas formadas como residuos de animales marinos, como son las conchas microscópicas que se cementan entre sí y forman piedras calizas. También mencionemos a los corales, que toman el calcio del agua y cuyos esqueletos se acumulan por siglos, dando lugar a arrecifes como los del Océano Pacífico.

Como explicación final, observaremos que las rocas son masas de material sólido natural, suficientemente grandes que forman una parte distinta de la corteza.

1.2 Los Minerales

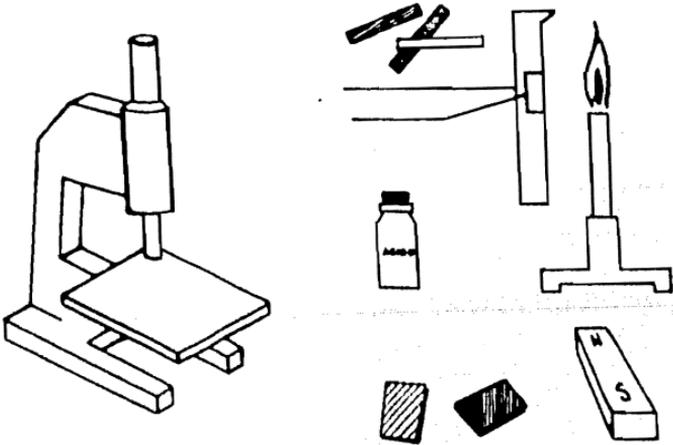
a) Los minerales están constituidos por materia inorgánica. b) Son compuestos definidos por una fórmula química. c) Tienen una estructura cristalina interna definida. Tomemos como un ejemplo de la combinación de minerales que constituyen una roca, el granito, que está formado por mica, feldespato y cuarzo.

Aunque a veces un solo mineral puede formar una roca, como en el caso del cuarzo, que constituye el 99% de las rocas areniscas, o el caso del yeso, que es una roca de un mineral. Sin embargo, las rocas pueden estar formadas por materiales que no son minerales, tal como ya se mencionó.

1.2.1 Su identificación

El estudio de la Petrografía es muy extenso, pero pueden identificarse fácilmente algunas rocas cuando están constituidas por minerales o sustancias parecidas.

AUXILIARES EN LA IDENTIFICACION DE MINERALES



Por lo general, las rocas son materiales sólidos, duros y pesados en comparación a otros materiales de uso diario.

La identificación de las rocas se facilita, cuando éstas están constituidas por minerales y éstos son

lo suficientemente grandes para ser identificados; se dificulta su identificación, si éstos son de grano fino, de colores oscuros y sus minerales parecen todos iguales.

Como un método frecuente de identificación se procede a dividir la roca con una sierra de diamante y se pule su superficie. Se observa entonces la raspadura que se pulió en un microscopio, utilizando luz polarizada, para analizar sus alteraciones y apariencia, lo cual sirve de base para su identificación.

Cuando es posible, las rocas se clasifican por su color, textura, dureza y peso relativo. También para su clasificación se consideran las condiciones en que se encuentra en la naturaleza.

Veamos a continuación algunas de las características que se analizan para la clasificación:

- A) Estructura interna.- Se puede clasificar un mineral observando la constitución geométrica de los cristales que la componen, ya que estos suelen presentarse en uno de seis sistemas conocidos, que es posible identificar analizando aun una pequeña muestra de material.

Cúbico

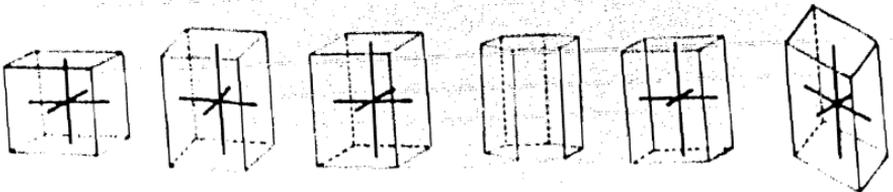
Monoclínico

Ortorrómico

Exagonal

Tetragonal

Triclinico



- B) Crucero.- Pueden emplearse como medio de identificación, las características de los fragmentos planos en que se parten ciertos minerales a cuyo aspecto se le denomina crucero. Un ejemplo claro de lo anterior lo es el crucero de la mica.
- C) Fractura.- Otros minerales al partirse, muestran formas irregulares a cuyo aspecto de rompimiento se le denomina fractura. Dos ejemplos frecuentes son: las fracturas terrosa y la conchiforme, (forma de conchas).
- D) Dureza.- Todos los minerales tienen un grado de dureza definido, que es en realidad la capacidad del mineral para rayar una superficie o para ser rayado. Generalmente la dureza de un mineral se mide por medio de una escala convencional graduada del 1 al 10.

Tabla de durezas

1 Talco	2 Yeso
3 Calcita	4 Fluorita
5 Apatita	6 Ortoclasa
7 Cuarzo	8 Topacio
9 Corindón	10 Diamante

- E) Color.- La identificación de un mineral por su color no es muy precisa, puesto que éste puede entropiarse a causa de las impurezas, o por cambios físicos y químicos de su estado natural, (el original).

- F) Brillo.- Puede identificarse un mineral por su brillo, o sea su propiedad para reflejar la luz. Esta propiedad puede aprovecharse con mayor beneficio observando los resultados del análisis con la luz ultravioleta, bajo la cual algunos minerales despiden brillos característicos.
- G) Propiedades eléctricas y magnéticas.- Es muy conveniente clasificar los minerales de acuerdo a estas propiedades, para las cuales se mide su resistencia al paso de corriente eléctrica, su punto de fusión, su conductividad, etc.

Los procesos por medio de los cuales los minerales integran las rocas es muy complicado, incluye reacciones químicas a altas temperaturas y presiones. Las variaciones de estas condiciones dan origen a una gran variedad de tipos de rocas, las que aunque a veces son parecidas entre sí, difieren mucho en sus características físicas y minerales.

1.2.2 Los recursos minerales de nuestra Tierra

Nuestra civilización moderna, requiere de una gran variedad de materiales y una enorme cantidad de energía. Usamos en proporción, mucho más de lo que se usó en cualquier época de la pasada historia de la raza humana, además de que nuestras necesidades se multiplican actualmente. Dependemos de los materiales de la tierra para transporte, construcción, comunicaciones, trabajo y seguridad.

La mayor parte de estos materiales proviene de los depósitos de la corteza terrestre. Estos depósitos

se han formado en la naturaleza a través de los procesos geológicos ampliamente analizados por la Ciencia.

Las naciones han recurrido históricamente, a la abundancia de la tierra como forma de poder, sólo que esta abundancia muchas veces no es renovable, además de que por su distribución natural, no siempre está en el dominio de una sola nación, lo que actualmente ha dado importancia a su adecuada administración. Los abastecimientos de energéticos y de combustibles fósiles hacen depender mutuamente a las naciones.

1.2.3 Depósitos minerales

La mayor parte de los materiales de uso común en la actualidad, son minerales de alguna de dos categorías, a saber: 1o. los metálicos: como el aluminio, el cobre, el oro, la plata, el hierro y el estaño. 2o. los no metálicos: como el diamante, la sal, el , el azufre y el asbesto.

La mayor parte de estos minerales se puede encontrar en cualquier sitio, pero no siempre es económicamente conveniente su explotación. Cuando su explotación es comercialmente conveniente, se les conoce como "depósitos minerales".

Una manera adecuada de clasificar los depósitos minerales, es en base a los procesos geológicos que los han formado: 1) por actividad ígnea, 2) por

intemperismo, 3) por sedimentación, 4) desde la formación de la masa de roca original.

La piedra ha sido utilizada a través de la historia como material de construcción, aplicación que se ha visto incrementada, por la mejora en las modernas técnicas de voladura con explosivos y al empleo de quebradores que la rompen a tamaños utilizables.

Todos los medios de transporte del mundo moderno dependen en mayor o menor grado de las rocas, como en las carreteras, vías férreas, pistas aéreas, ma^llecones.

Otras rocas tienen valor, debido a sus propiedades químicas, las calizas por ejemplo, se utilizan para neutralizar ácidos en la refinación del azúcar, o como ciertos fertilizantes y como materia prima en la manufactura de cemento, etc.

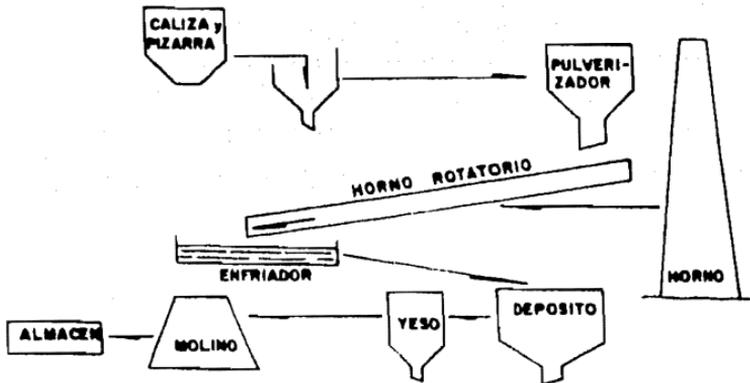


DIAGRAMA DE LA FABRICACION DEL CEMENTO

Es también importante la roca fosfática que tiene aplicaciones como fertilizante agrícola. Son comunes ciertos minerales que se denominan asbestos, con apariencia fibrosa y flexible, localizados en ciertas rocas metamórficas constituidas por variedades del mineral serpentina, (un silicato de magnesio).

La sal o NaCl, sustancia indispensable para la vida afortunadamente muy abundante en la corteza terrestre, se obtiene comercialmente tanto del mar como de las rocas que se forman por evaporación natural de las aguas saladas. Este compuesto también es importante en la industria química para la conservación y transporte de alimentos.

1.2.4 Exploración en búsqueda de depósitos minerales

La búsqueda de depósitos minerales símpre ha estado encaminada por alguna teoría, aunque algunas de éstas sean supersticiosas y primitivas. Por otra parte, la suerte ha intervenido frecuentemente en las exploraciones más cuidadosas.

Sin embargo, el análisis de los depósitos minerales existentes, es la mejor guía de las condiciones que se deben buscar para la localización de un yacimiento. Actualmente se investigan las regiones mediante métodos geofísicos de exploración, la mayoría de los cuales utilizan medios físicos indirectos, como son: medidas gravimétricas, medidas de potencial electro-magnético, métodos sismológicos, etc.

1.3 Energía del mañana

La energía atómica es una realidad cada vez más al alcance del hombre. Los energéticos como el carbón, el petróleo y el gas, nos proporcionan una pequeña parte en comparación con la gran energía que rinde el átomo, y ésta se ha encauzado a fines pacíficos, lo cual es una gran esperanza.

La gran cantidad de energía atómica que se ha logrado liberar, proviene sólo de unos cuantos elementos, uno de los cuales es el Uranio, elemento naturalmente inestable. La energía que este elemento suministra, actualmente alcanza gran eficiencia y potencia en equipo experimental, como submarinos atómicos, aviones y plantas generadoras de electricidad.

1.3.1 Minerales de Uranio

Los depósitos de Uranio, se forman por actividad ígnea, y aparecen en rocas de este tipo, como diques pegmáticos y depósitos de veta. Los mayores depósitos mundiales se encuentran en Canadá, Congo Belga y Checoslovaquia. Es fácil explorar la localización del Uranio si se cuenta con el uso de un contador Geiger. Actualmente es posible la utilización de ciertos tipos de Uranio, aunque no, es utilizable en todas sus formas.

Para contabilizar las reservas mundiales de Uranio, consideramos a éste en todas sus formas, con lo cual se logra un volumen potencial de energía comparable con el de los depósitos totales de petróleo, carbón y gas.

1.4 Resumen

Los principales componentes de las rocas son los minerales.

Los minerales pueden ser elementos puros o compuestos, y son formados por procesos inorgánicos.

Los minerales se clasifican según varias características: dureza, fractura, color, brillo, conductividad, relatividad, etc.

La Humanidad ha utilizado grandes cantidades de energía, y esto se ha acentuado en la actualidad. Su distri-

bución geográfica ha propiciado la necesidad de una adecuada administración.

Algunos minerales han tenido diversos factores de enriquecimiento natural. Un ejemplo es la concentración del oro y el cobre en las partes bajas del terreno, tales como los cañones de las sierras montañosas.

Actualmente se cuenta con grandes medios de investigación de los recursos aprovechables del potencial energético de la Tierra.

Esto ha propiciado aplicaciones cada vez más sofisticadas de los recursos de la Tierra.

La posesión de recursos energéticos, ha sido utilizada como medida de poder político.

La mayor parte de los materiales naturales y artificiales se siguen investigando para un mejor aprovechamiento de sus propiedades y características.

C A P I T U L O 2

ESTUDIOS PRELIMINARES A UNA EXPLOTACION

2.1 Estudios socio económicos

2.1.1 Análisis del mercado

2.2 Estudios geológicos

2.3 Estudios legales

2.3.1 Reglamento para la explotación de materiales para construcción en el D. F.

2.4 Conclusiones

2.1 Estudios socio-económicos

Los estudios socio-económicos, son estudios preliminares de la región de trabajo, hechos con el fin de conocer las condiciones humanas, ambientales y físicas en que se desarrollarán los trabajos de una explotación haciendo así una evaluación de las dificultades y la forma de superarlas, así como de los beneficios que de ella se obtendrán.

Estos estudios de la región y su mercado, se inician recavando información en oficinas federales, cámaras de comercio, oficinas de hacienda, gobierno del estado, etc. Esta información, se clasifica y ordena según su importancia, considerando a la vez las necesidades de desarrollo de la región. En esta etapa, se evalúa la necesidad de desarrollar obras de carácter civil y comunal, tales como: construcción de escuelas, caminos, puentes, casas habitación, drenaje, etc.

Anteriormente las inversiones en obras de ingeniería se realizaban mediante el análisis individual de las bondades de cada proyecto, sin establecer una relación con la economía de la región en general; los resultados fueron satisfactorios, porque la magnitud de los problemas requería solución inmediata y no se hacía necesario evaluar una interrelación en las obras, sólo era necesario lograr la comunicación entre las ciudades más importantes del país o dotar de servicios a las grandes ciudades, rehabilitar los ferrocarriles, los puertos o proporcionar energía eléctrica a la industria naciente. En la actualidad, sólo mediante una verdadera y eficiente planeación, es posible definir con precisión cuales beneficios de la inversión que resulten más utilitarios para la comu

dad.

Ahora bien cualquiera que sea el proyecto de obra de carácter civil por ejecutar, éste involucra en la mayoría de los casos, la necesidad de utilizar materiales de origen mineral.

De la demanda de materiales de origen mineral, para cualquiera de los usos que se les quiera dar, depende principalmente la magnitud de las obras de explotación de minas y canteras.

2.1.1 Análisis del mercado

Conociendo mediante estudios geológicos y topográficos la cantidad de material mineral susceptible de ser extraído, se calcula la duración y extensión del mercado para los productos, considerando todas las posibilidades adversas, como la de competencia por otros proyectos de explotación similares instalados con anterioridad o los que se puedan crear.

Se debe considerar la posibilidad de competencia por productos nuevos que sustituyan ventajosamente a los minerales, tal como ha sucedido con ciertos productos artificiales, que provocaron la bancarrota de empresas centroamericanas.

Se considerará la mejora continúa de la presentación del producto, (limpieza y pureza), así como la posibilidad de reducción de precios, de manera que se garantice al menos alguna demanda del producto.

Para conservar un buen mercado del producto, es necesario especificar siempre las características del material que se extrae, ya que en ocasiones, las condiciones climatológicas de la región, harán variar las características de apariencia y pureza del producto, que lo harán menos satisfactorio. Esta situación, convendrá pues preverla y especificarla a los compradores.

En base a lo anterior y a otros estudios económicos más, se hará la planeación de la explotación de reservas, buscando un tiempo de recuperación de las inversiones iniciales, que resulte óptimo para la institución interesada.

Usualmente, se consideran tiempos de recuperación de capital, entre 10 y 15 años, aunque este período no sea fijo, sino que dependerá de la rapidez de crecimiento de la demanda.

2.2 Estudios geológicos

Estos estudios se hacen yendo de lo general a lo particular, lo que significa ir de lo menos costoso a lo que requiere mayores erogaciones. Se inician con la localización de los yacimientos de minerales o rocas susceptibles de explotación; la forma de efectuar dicha localización puede ser: mediante reconocimientos preliminares en el campo, por medio de fotografías aéreas, con una amplia ayuda del trabajo topográfico, por medio de mapas geológicos de la región y por fotografías en general.

No siempre es posible contar con mapas geológicos y fotografías aéreas de la región, sin embargo es posible al

menos, efectuar reconocimientos aéreos y obtener información a través de éstos, siempre y cuando la importancia de la inversión así lo requiera.

De la localización para cualquiera de las formas antes mencionadas podemos evaluar:

- a) Rocas que afloren y su posible aprovechamiento.
- b) Localización de bancos de explotación.
- c) Forma de explotar los bancos.
- d) Forma de acceso y sus rutas a la explotación.
- e) Esquematación de los procedimientos de extracción.

Aún cuando en algunas ocasiones, dichos datos no son tan precisos como se desea, dan idea de las características de las zonas en estudio.

Localizados los yacimientos de mineral que se suponen aprovechables, se procede a efectuar la exploración detallada, para establecer los mejores frentes de ataque.

Estas investigaciones tienen que realizarse con metodología apropiada, de acuerdo con el tipo de material, de las necesidades de la explotación y de las características del relieve, de los caminos y de las instalaciones existentes.

Debe tenerse en cuenta, que puede haber contactos entre diferentes tipos de roca dentro del lugar que se explora, o bien, cambios notables en las características de la formación, por lo que la explotación debe hacerse cuidadosamente.

Es importante determinar la clase de roca, el sistema de

fracturamiento y la naturaleza de los estratos según su origen. También es importante conocer cuando las fracturas se han llenado de arcillas y si la roca es cavernosa o si se encuentra fragmentada. Con estos elementos se puede planear donde iniciar la extracción y determinar que procedimientos de explotación son los más adecuados.

2.3 Estudios legales

En estos estudios participa el Ing. Topógrafo de manera directa, estableciendo criterios técnicos apegados a los reglamentos vigentes establecidos por parte del Gobierno Federal, a fin de cubrir varios requisitos y trámites necesarios para el control por parte de el Estado de los derechos de cada titular de una propiedad o concesión en la que se pretenda la explotación de los recursos minerales del suelo o subsuelo.

Existe para los dominios de la República Mexicana, una "Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia de Minería", en la cual se han enumerado los requisitos que se deben cubrir, cuando se pretende iniciar la explotación de materiales minerales o materiales para la construcción.

En dicha ley están enumeradas también las personalidades, instituciones y agencias que participan en esta reglamentación. De manera general, mencionaremos algunos de los puntos más interesantes, sugiriendo que para un conocimiento más amplio del tema, se investigue directamente en esta ley. Algunas ediciones impresas de esta ley, se encuentran a la venta en varias librerías de la República.

Es de considerarse que toda la explotación minera y lo referente a ella, como su preparación, ejecución y reglamentación, podrían escribirse en numerosísimos volúmenes, ya que es ésta una actividad humana de gran importancia y este trabajo escrito sólo hace mención de algunos de los puntos en que participa el Ingeniero Topógrafo en ella, por lo que se justifica lo que se reduce a una breve descripción, dejando al lector, como ya se indicó, la tarea de investigar en las fuentes que se mencionan.

El dichas ediciones de la "Ley Reglamentaria en Materia de Minería", se encuentran divisiones que clasifican las leyes, reglamentos e instructivos, que describen con precisión: la manera de supervisar las operaciones en una mina, enumera los trámites necesarios para el caso en que se quieran adquirir los derechos de un área en concesión, tablas para el pago de impuestos, las características de un área legal, etc.

Se establece en esta Ley, que corresponderá a la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, la tarea de analizar y vigilar la aplicación de la Ley y su Reglamento, para lo cual contará con el personal necesario. Estará encargada de establecer agencias en toda la República, de manera que pueda atender las solicitudes y los trámites que los mineros hagan.

En dicha Ley viene incluido un "Instructivo para Peritos encargados de ejecutar los trabajos e informes periciales a la localización, medición y amojonamiento de los lotes mineros", en el cual se describen las operaciones topográficas de campo y gabinete que será necesario presentar para la aprobación de una titulación minera; en

todas las operaciones anteriores participa directamente el Ingeniero Topógrafo ejecutando las tareas que ense-
guida se enumeran:

- 1) Estudio de la solicitud. Consiste en la investiga-
ción de la libertad del terreno, así como la manera de presentar una solicitud de concesión.
- 2) Trabajos de campo. Consiste esta etapa, en el estudio de la localización y medición de los lotes a explotar. El perito procederá a:
 - a) identificar puntos de partida de los lotes,
 - b) identificar las colindancias y referir sus puntos,
 - c) verificar datos e incluir los que sean necesarios,
 - d) determinar la dirección de la meridiana astronómica.
 - e) señalar en su caso, la construcción de la mojonera de localización,
 - f) construir una mojonera auxiliar,
 - g) fijar las referencias necesarias.
- 3) Toma de fotografías reglamentarias:
 - a) del punto de partida,
 - b) de la mojonera de localización,
 - c) de la mojonera auxiliar,
 - d) de los puntos a que se ligaron las visuales de re-
ferencia.
- 4) Redacción de Informes Periciales.- Contendrá los datos que el instructivo enumera.

- 5) La elaboración de los planos de localización.- En los cuales se harán aparecer todos los datos del soli citante en la calidad y presentación que el instructi vo especifica.
- 6) El cálculo y la presentación de las planillas corres pondientes a las determinaciones de:
 - a) la meridiana astronómica,
 - b) las ligas topográficas,
 - c) los lados del perímetro y
 - d) el cálculo de la superficie.

La Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, propo cionará la identidad legal a aquéllos que cubran los re quisitos de capacidad técnica que se establecen, a fin de asegurar la veracidad de los testimonios e informes que ante ella se presenten, logrando así una mejor admi nistración de los derechos de cada ciudadano, (para in formación de lo anterior, consúltense los Artículos del 105 al 113 de la Ley Minera).

2.3.1 Reglamento para explotación de materiales para construcción en el D. F.

Dicho Reglamento se encuentra contenido en la Ley Minera del Artículo 27 Constitucional y se publica bajo el título de "Reglamento para los traba jos de explotación de yacimientos de arena, cante ra, tepetate y piedra en el Distrito Federal".

Dicho Reglamento está constituido por nueve capí tulos, que enseguida enumeramos:

- I) Licencias.- Se establecen los requisitos necesarios para el trámite de la licencia respectiva.
- II) Explotación subterránea.- Por estar éste y otros capítulos fuera del alcance de esta tesis, no se comentarán.
- III) Explotaciones a cielo abierto.- Se dan cuatro reglas para la seguridad de la explotación.
- IV) Sistema mixto de explotación
- V) Transporte, conservación y manejo de explosivos.
- VI) Obligaciones de los peritos responsables.- Se hace responsable al perito de la conservación, seguridad y mantenimiento de la extracción.
- VII) Obligaciones y responsabilidades de los individuos o empresas explotadoras.
- VIII) Sanciones
- IX) Disposiciones generales.

2.4 Conclusiones

Es necesario, como en todas las obras de ingeniería, la realización de estudios socio-económicos preliminares al inicio de las inversiones, porque de esta manera, se pueden distribuir mejor los recursos que se van a emplear y

alcanzar así mejores metas y servicios.

Las inversiones para una explotación de minerales siem -
pre han sido elevadas, así como también los beneficio
que proporciona esta industria, por lo que se requiere
una planeación precisa de todos los factores que en
ella intervienen.

Esto será posible, si desde el inicio de sus funciones,
existe una buena coordinación de sus actividades, en
las cuales el Ingeniero Topógrafo cumplirá con capaci-
dad y profesionalismo sus tareas.

Son muy variadas las actividades del ingeniero dentro
de este tipo de industrias, desde la localización y tra-
zo de linderos, trazo de caminos de acceso, hasta la con
servación y actualización semanal de los planos de avan-
ce de las obras de extracción, siendo entonces la parti-
cipación del ingeniero continuamente necesaria. Es tam-
bién parte de su labor la práctica de trámites legales,
que en su preparación profesional debe haber incluido, a
fin de asesorar en las medidas que se tomen tendientes a
la planeación del crecimiento de las empresas que se ini
cien.

C A P I T U L O 3

METODOS TOPOGRAFICOS DE CONTROL Y SU COMPROBACION

3.1 Levantamiento de poligonales

3.1.1 Medidas angulares

3.1.2 Comparación de tres métodos de levantamiento

3.1.3 Métodos para dibujar una poligonal

3.2 Nivelación

3.2.1 Comprobación

3.2.2 Tolerancias

3.2.3 Compensación de cotas

3.2.4 Compensación de una red de nivelación

3.2.5 Compensación por Aproximaciones Sucesivas

3.2.6 Propiedad de las redes

3.2.7 Ejemplo

3.3 Equipo de campo

3.3.1 El teodolito T-2

3.3.2 Mira Invar

3.4 Determinación del Azimut Astronómico

3.4.1 Método de observación a la estrella Polar en cualquier momento.

3.4.2 Ejemplo

3.5 Control semanal de una explotación por medio de prismas

3.6 Configuración

3.6.1 Trazo de secciones

3.1 Levantamiento de poligonales

En ésta, como en otras variedades de trabajos topográficos, se requiere que, quien realice el levantamiento, trace las poligonales envolventes necesarias para el control de la configuración y el apoyo de detalles. Será lo más conveniente para estos casos, que se utilicen poligonales cerradas, en las que el cierre angular y el cierre lineal puedan ser comprobados fácilmente, conservando los cierres dentro de las tolerancias especificadas en los tratados de topografía.

En éstos, como en todos los trabajos que se realicen con precisión, convendrá referir uno de los lados de esta poligonal a la meridiana astronómica, cuyo método de campo y cálculo se explican más adelante.

3.1.1 Medidas angulares

- A) Levantamiento por ángulos a la derecha o a la izquierda. Si el polígono envolvente es cerrado, este procedimiento da por resultado que los ángulos medidos sean interiores o exteriores al polígono.

Se demuestra que, en un polígono cerrado, la suma de los ángulos interiores, es igual a $180^\circ(n - 2)$ en donde $n =$ número de ángulos medidos, o sea

$$\sum \text{ANG}_n \text{ INTERIORES} = 180^\circ(n - 2) \text{ y también}$$

$$\sum \text{ANG}_n \text{ EXTERIORES} = 180^\circ(n + 2)$$

Error angular. La discrepancia entre la suma de los ángulos interiores y la condición antes establecida es el error angular.

Tolerancia. El error se debe comparar con el del error tolerable, que para estos casos es

$$T_{\text{ANG}} = \alpha / \sqrt{n}$$

donde α = aproximación del vernier.

n = número de ángulos medidos en el polígono.

Efectuando el levantamiento angular, se hará la suma de los ángulos interiores y se compararán con la condición angular.

$$(\sum \leftarrow_{\text{B}} \text{INTERIORES} = 180^\circ (n - 2))$$

Se compara la discrepancia con el error angular tolerable

$$T_{\text{ANGULAR}} = \alpha / \sqrt{n}$$

Si queda en tolerancia no procede a hacer la compensación angular de distribuir en cada vértice una fracción homogénea del error tolerable.

Por ejemplo: La tolerancia para un polígono de 9 lados, puede ser de $\pm 1' 6'' - 3''$ de error,

$$T_{\text{ANGULAR}} = 1' / 9 = \pm 3''$$

y su suma angular debe ser igual a $1\ 260^\circ$, así, la tolerancia podrá tenerse entre: $1\ 260^\circ\ 03'$ y $1\ 259^\circ\ 57'$.

- B) Levantamiento angular por el método de deflexiones. Se llama ángulo de deflexión al que resulta de comparar uno con 180° .

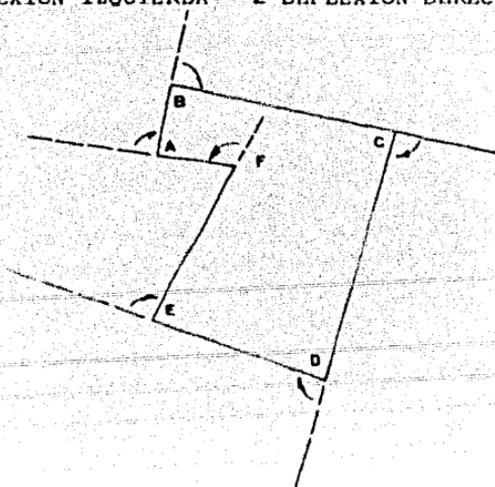
De lo anterior resulta que la deflexión puede ser derecha o izquierda.

Para medir un ángulo de deflexión, basta prolongar en el vértice, el lado anterior y medir la deflexión con el lado siguiente.

Se demuestra que la condición angular en un levantamiento por deflexiones para un polígono cerrado es:

$$\Sigma \text{ DEFLEXION DERECHA} - \Sigma \text{ DEFLEXION IZQUIERDA} = 360^\circ$$

$$\Sigma \text{ DEFLEXION IZQUIERDA} - \Sigma \text{ DEFLEXION DERECHA} = 360^\circ$$



Ejemplo:

Vértice	Derecha	Izquierda	Angulo interior
A	110° 15'		69° 45'
B	95° 37'		84° 23'
C	82° 32'		97° 28'
D	87° 55'		92° 05'
E	86° 16'		93° 44'
F		102° 35'	
Suma	462° 35'	102° 35'	720° 00'
	102° 35'		
	360° 00'		

- C) Levantamiento angular por conservación de azimutes. Por definición de azimut, en cada vértice se tendrá una paralela a la línea Norte-Sur.

Se debe conocer al inicio del levantamiento la dirección Norte-Sur, lo más precisamente posible.

Este método sólo es aplicable cuando para el levantamiento se cuenta con un teodolito, en el cual vaya montada una brújula en que leer los azimutes.

El procedimiento de campo es el siguiente: En el vértice de partida se centra y se nivela el aparato, y se pone en el vernier "A" el valor de 0° 00', (en el vernier "B" estarán 180° 00')

Si el azimut es magnético, con el movimiento general y dejando que la aguja de la brújula señale el Norte magnético, hacemos coincidir

el Norte de la carátula con el Norte de la aguja.

En esta condición el aparato queda orientado con la meridiana Norte-Sur. Aflojando el movimiento particular del aparato se observa el vértice de adelante "B" quedando señalado en el vernier "A" el azimut directo del lado A-B.

Se traslada el aparato ahora al vértice de adelante "B" en donde se nivela con el valor del azimut del lado A-B en el vernier "A", en posición inversa del tránsito. (El nivel unido al anteojo queda arriba de él) se observa el vértice anterior "A" fijando el movimiento general. Se pasa el aparato a posición directa, (ahora el nivel queda abajo) y con el movimiento particular se observa el vértice de adelante "C", quedando señalado en el vernier "A" el azimut directo del lado B-C, y así sucesivamente.

La comprobación angular para este método de levantamiento consiste en regresar al vértice inicial con el valor del azimut del primer lado.

Ejemplo:

Lado	Azimut
AB	37° 45'
BC	133° 22'
CD	215° 54'
DE	303° 49'
EF	30° 05'
FA	287° 30'
AB	37° 45'

3.1.2 Comparación de los tres métodos

Cuando se trata de un levantamiento de cierta precisión, debe preferirse el primer método a los otros dos, ya que se presta a repetir el ángulo las veces que se quiera, y a hacer las observaciones en las dos posiciones. Influyen en general poco los errores de colimación, casi siempre los dos puntos entre los cuales se mide el ángulo están a la misma altura. El cálculo de azimutes es muy sencillo y se hace casi mecánicamente. Además se tienen directamente los ángulos interiores.

No presenta ninguna ventaja el método de deflexiones, además de duplicar los errores de colimación exige más tiempo para el cálculo de rumbos. Se necesita disponer de un teodolito que esté graduado de 0° a 180° . Este procedimiento se suele emplear en levantamientos de poligonales que sigan casi la línea recta, entonces las deflexiones son pequeñas. Es muy frecuente su uso en el trazo de vías y canales.

El mejor método cuando no se necesitan medir repetidamente los ángulos, es el de conservación de azimutes, además de que en él, no se van propagando los errores de lectura, tiene la ventaja de que mecánicamente se van obteniendo los azimutes de los lados, sin tener que hacer cálculo alguno.

No influye el error de colimación si se emplea el método de leer alternativamente uno y otro vernier. Si se emplea el procedimiento en que se invierte el anteojo, no se propaga, si se tiene cuidado de

observar el punto de atrás alternativamente, en posición directa e inversa. Tiene el inconveniente de que, si se comete un error grande en la lectura, no se nota ésto en los resultados, por obtenerse los azimutes de los lados independientes de las lecturas. Hay además el peligro, si se tiene poca práctica en el manejo de los teodolitos, de tomar un tornillo por otro al observar el punto de atrás.

3.1.3 Métodos para dibujar una poligonal

Una poligonal se puede dibujar de tres maneras diferentes:

- A) Por medio de ángulos y distancias
- B) Por medio de rumbos
- C) Por medio de coordenadas

La construcción por ángulos consiste en ir fijando la dirección de cada lado con relación al anterior, para lo cual se puede emplear el transportador. Se puede emplear alguno con aproximación de 1'. Este método es el menos preciso, pues el error que se comete al trazar un lado influye en la posición de los siguientes.

Designando por "e" el error medio gráfico, el de un lado de orden "n", será igual a $e\sqrt{n}$, así que la poligonal se irá separando cada vez más de la verdadera.

En la construcción por rumbos se puede usar papel cuadrículado al milímetro, siendo las direcciones en un sentido paralelas a la meridiana. Para trazar un ángulo de un lado, se hace que éste, forme con la meridiana un ángulo igual al rumbo del mis-

mo, (el calculado). Como cada lado se va construyendo independiente de los demás, no se propaga el error gráfico.

Superior a los anteriores métodos es el de coordenadas, porque en éste, la posición de cada vértice va quedando independiente de la de los otros.

3.2 Nivelación

Esta debe de consistir en un recorrido de tal manera que se puedan comunicar las cotas correspondientes a todos los vértices de la poligonal envolvente, para que éstos a su vez tengan un control vertical que transmitir a las curvas de nivel que representan la configuración de la superficie de el fondo y perímetros de la zona en estudio.

Para el recorrido de la nivelación se pueden emplear: un operador, un anotador y un estadalero. Para mayor rapidez se pueden emplear dos estadaleros, pero existe el inconveniente de que, casi siempre los estadales tienen un desajuste desigual en sus articulaciones a causa del desgaste, lo cual se traduce en imprecisiones del resultado final.

Durante el recorrido de una nivelación, conviene se tengan en cuenta los siguientes cuidados:

- A) Procurar que las distancias entre el aparato y las puestas del estadal sean las mismas, tanto para la puesta de adelante como para la puesta de atrás, aunque los errores de refracción y curvatura son pequeños y crecen con la distancia, son acumulables. (Su margen

de corrección es de 1 mm. para 30 metros, 2 mm. para distancias entre 150 y 185 metros). Seleccionando - - equidistantes las puestas del estadal al aparato se - elimina también el error de colimación que pueda intro - ducir el instrumento utilizado.

- B) Ya que la falta de verticalidad en el estadal hace que la lectura sea mayor que la verdadera, se debe impr - mir en cada puesta del estadal un movimiento de vaivén hacia adelante y hacia atrás, mientras que el operador tomará la menor lectura, que será la que corresponda a la verticalidad. Es también posible instalar en los estadales, niveles circulares, con los que también se garantiza la verticalidad de estos.
- C) Se procurará para la elección de los puntos de esta - - dal, seleccionar puntos fijos en los cuales apoyar el estadal sin que éste se unda o se eleve por las condi - ciones del terreno, lo cual significa aumento o dismi - nución en las lecturas. Se puede también tener el cu - dado de utilizar accesorios llamados "sapos" en los cuales se apoya el estadal con el mismo fin, o bien una piedra que produzca los mismos resultados.
- D) También se da la circunstancia de que durante las ho - - ras muy soleadas, se produce el efecto de reverbera - - ción. Este es debido a que las capas de aire tienen una densidad mayor cerca de la superficie del terreno y ésta va disminuyendo con la altura, ocasionando des - viaciones en las visuales que se traducen en errores incontrolables. Este tipo de errores se puede preve - nir con dos cuidados: 1) Que las nivelaciones se rea - lizen evitando el tiempo muy soleado, con lo cual se disminuye notablemente el efecto; 2) No realizar visua

les muy rasantes al suelo, porque allí se produce la mayor desviación.

- E) También es conveniente tener en cuenta la comparación de las miras o estatales con una mira patrón para conocer los errores de éstas y si es necesario, controlar los resultados calculando la corrección correspondiente, por dilatación de los materiales del estatal.
- F) Suele introducirse un error ocasionado por la imperfección en el centrado de la burbuja del nivel. Para que la visual sea horizontal, es preciso que el centro de la burbuja coincida con el de la escala, para que sólo influya el error accidental de apreciación de la coincidencia del centrado de la burbuja con el cero de la escala y no el producido por movimientos anormales de los pies del trípode o del anteojo. Conviene llevar la burbuja al centro inmediatamente antes de ver la mira y después de haber hecho el enfoque.
- G) Debe considerarse también la circunstancia de que no es posible apreciar con exactitud la lectura de las fracciones del centímetro en el momento de leer la mira, por lo cual mientras sea posible, conviene utilizar estatales con graduación pequeña.

3.2.1 Comprobación

Como en todos los casos que se quiera lograr seguridad en los resultados, se tendrá la necesidad de realizar algún trabajo que compruebe la veracidad de los resultados. Es posible por lo tanto la utilización de alguno de los procedimientos que en seguida se indican:

- A) Uno de éstos, puede ser la realización de la misma nivelación, solo que iniciando el recorrido en sentido contrario, para lo cual se pueden tomar los mismos puntos o bien, puede ser mas conveniente se siga otro camino.
- B) Se puede realizar una nivelación por doble punto de liga, la que consiste en realizar dos nivelaciones simultáneas, pero con diferentes eg-taciones de aparato. Para evitar confusiones y equivocaciones al ir registrando las lecturas a la mira, conviene llevar dos hojas de registro separadas para cada nivelación. Por este método se pueden llevar inclusive tres o mas nivelaciones si se desea.
- C) Se puede también utilizar como medio de comprobación, las nivelaciones hechas por doble altura de aparato, lo cual equivale a llevar nivelaciones totalmente independientes.

Cualquiera que sea el método de comprobación que se siga, como se obtienen varios valores para el desnivel total, el valor más probable será el promedio de ellos. También se podrá conocer el error de cada una, haciendo la diferencia entre el valor del promedio y el de cada nivelación.

Para conocer el grado de precisión de cada nivelación, se aplican las fórmulas de tolerancia que para cada caso se especifican, en las que se necesitan conocer, por lo menos aproximadamente, la distancia recorrida en el trayecto entre bancos de nivel. Para llevar este control aunque sea en forma aproximada, puede irse anotando la distancia para

to-estadal que se utilice. Esta se puede conocer aproximadamente ya sea contándola a pasos o por medio de estadía del nivel.

Como se observa, la precisión en todo tipo de trabajos, depende de varios factores, pero básicamente debe considerarse la calidad y estado de conservación del equipo utilizado. Depende también del cuidado y experiencia del nivelador, además de todos los cuidados y dedicación de la brigada de trabajo.

Es de notarse, que gran cantidad de errores se introducen por la necesidad de cambios de estación, por lo cual, si se puede optimizar el número de estaciones se podrán reducir también el número de errores, lo que equivale a elegir la mejor ruta entre ambos bancos.

Será más frecuente cometer errores en terreno accidentado que en terreno plano. En función de esto se hace conveniente, planear la labor de nivelación diaria, de manera que se ejecuten tramos definidos del trayecto, realizando la tarea desde el inicio, hasta el final, con las menores interrupciones posibles, ya que de esta manera las operaciones de la brigada se mecanizan haciéndose más eficientes, con lo que se alcanza mayor precisión de los resultados y velocidad en el trabajo.

3.2.2 Tolerancias

Pasemos a establecer las tolerancias para los métodos de nivelación que se mencionaron.

Estableceremos que para éstas se consideraron solamente los errores cometidos accidentalmente. Igualmente se supuso que se trabajó con un aparato ordinario y que las lecturas al estadal se hicieron hasta la apreciación del milímetro, con visuales máximas constantes de 100 mts.

- A) Para una nivelación entre dos puntos por el método de ida y regreso

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

(P) significa el número de kilómetros recorridos comprendiendo la ida y el regreso.

- B) Para una nivelación entre dos puntos, por el método de doble punto de liga, con visuales medias de 100 mts.

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

(P) será el doble de la distancia recorrida, ya que de hecho se llevaron dos nivelaciones en este procedimiento.

- C) Para la nivelación entre dos puntos por doble altura de aparato

$$T = \pm .02 \text{ m} \sqrt{P}$$

(P) significa el doble de la distancia recorrida, ya que también en este caso se llevan dos nivelaciones.

Existe en toda observación un error ineludible, el

cual se hará más pequeño a medida que aumenten los cuidados en el trabajo. Pero este error sólo será admisible si es menor a las tolerancias que para el caso se establecen. Si éste es el caso se procede a efectuar una compensación de cotas.

3.2.3 Compensación de cotas

Esta compensación consiste en la distribución del error en cada punto intermedio del recorrido.

Para compensar las cotas, primero habrá que definir el valor del desnivel total, según los pesos de los diferentes trabajos o rutas seguidas.

Establecido el desnivel definitivo, la repartición del error a los puntos intermedios, se hace proporcionalmente a la distancia recorrida, sobre la ruta seguida a cada punto.

$$\frac{\text{Error total}}{\text{Distancia total nivelada}} = \frac{\text{Error en un punto intermedio}}{\text{Distancia nivelada hasta ese punto.}}$$

La corrección que se aplica a la cota de cada punto, obviamente es de signo contrario al error, es decir si se llegó con la nivelación a una cota superior a la que da el desnivel definitivo, las cotas de los puntos intermedios deben disminuirse y viceversa.

Puede darse el caso en que sólo haya establecido un banco de control, para lo que se tendrá que realizar una nivelación en circuito, pasando por los

puntos requeridos y regresando al mismo banco de salida. Esto quiere decir que el desnivel total será cero, y sólo se establecerán cotas en los puntos intermedios.

Puede suceder el caso que se tengan varios bancos, para lo cual se formará una red con todos los recorridos o circuitos de nivelación.

3.2.4 Compensación de una red de nivelación

Existen varios métodos de compensación de una red de nivelación. Entre los más utilizados tenemos: 1) el método de compensación consecutiva por inspección, 2) el método de compensación simultánea por estimación y 3) el método de los mínimos cuadrados.

Es posible resolver un mismo problema por varios caminos, aunque la solución ideal, es aquélla en la que la suma de los cuadrados de las soluciones o correcciones es mínima.

Desde un punto de vista teórico, la compensación ideal sería una compensación simultánea de toda la red. Esto incluiría todas las medidas de control de precisiones completamente diferentes, cada una de ellas afectadas del peso correspondiente a la precisión utilizada.

Un plan de este tipo no suele ser práctico. El aumento en la exactitud sería pequeño y como no se obtendrían alturas y posiciones de puntos hasta concluir todo el trabajo, no se podría progresar en ninguna de las restantes operaciones topográficas.

En lugar de ésto, se establece un sencillo sistema primario de control que cubra toda la superficie, realizando las operaciones topográficas, comparativamente con gran exactitud y se compensa lo más pronto posible. Todas las alturas o coordenadas que se obtengan se considerarán definitivas, de tal forma que los trabajos subsiguientes se puedan basar en ellas. Cualquier red secundaria de control que se necesite cubriría entonces una superficie comparativa pequeña pudiendo ser compensada simultáneamente como una unidad independiente, manteniendo la red fijada originalmente.

3.2.5 Compensación de una red por aproximaciones sucesivas.

Para compensar una red por aproximaciones sucesivas, cada circuito se compensa por separado, pero en orden. Recorriendo la red en un solo sentido. Compensando el primer circuito, los desniveles corregidos, servirán para calcular el error de cierre del siguiente circuito a compensar y así sucesivamente. Después de haber compensado todos, como aparecen descompensaciones por las mismas correcciones que sufren las rutas contiguas, deberá repetirse el ciclo a partir de los valores obtenidos, varias veces hasta lograr el equilibrio simultáneo. Generalmente en el tercer o cuarto ciclo de compensación, se logra este equilibrio.

3.2.6 Propiedad de las redes

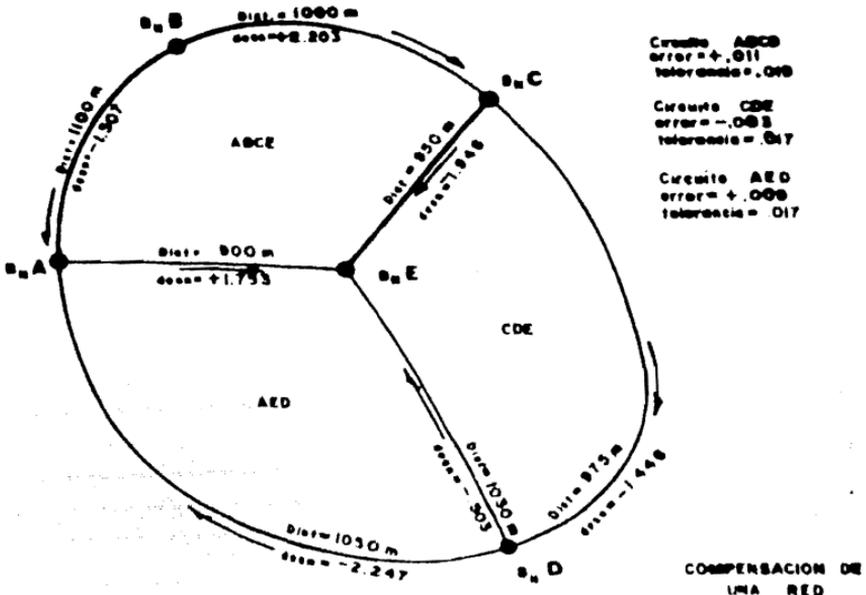
"La suma de los errores de dos o más circuitos adyacentes, es igual al error del lazo formado por las líneas exteriores de estos circuitos". Se puede comprobar de la siguiente manera:

Cuando se suman los cierres de los circuitos adyacentes, las líneas comunes o interiores, (diferencias), intervienen dos veces en la suma. Una vez con signo más y otra vez con signo menos. Sus efectos por lo tanto se anulan y únicamente aparecen en la suma el cierre del lazo exterior.

3.2.7 Ejemplo

Sea la red de nivelación que muestra la figura: compensarla por el método de aproximaciones sucesivas.

- a) Se dibuja un croquis a escala aproximada de la red de nivelación, en que aparezcan: las diferentes medidas, las longitudes de los tramos, los errores máximos tolerables y los sentidos de recorrido.



- b) Las compensaciones a cada tramo, se harán según su longitud, por ejemplo:

La primer compensación del circuito A B C D

Desarrollo total 3.950 km

$$\text{Error de cierre} = 1.507 + 2.203 - 1.946 - 1.753 = + .011$$

$$\begin{aligned} \text{Tolerancia de cierre} &= .01 \text{ m} \sqrt{\text{desarrollo}} = .01 \sqrt{3.950} \\ &= .019 \text{ mt} \end{aligned}$$

∴ está dentro de tolerancia

$$\text{Corrección} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Perímetro}} \text{ Error}$$

Los resultados del desarrollo se ordenaron en una tabla que se muestra en la página siguiente.

$$C_1 = \frac{0.011}{3950} \times 1100 = .003 \text{ m}$$

$$C_2 = \frac{0.011}{3950} \times 1000 = .003 \text{ m}$$

$$C_3 = \frac{0.011}{3950} \times 950 = .002 \text{ m}$$

$$C_4 = \frac{0.011}{3950} \times 900 = .003 \text{ m}$$

			C I C L O I			C I C L O II			C I C L O III		
CIRCUITO TRAMO DISTAN.			DESNIVEL	CORR.	D. C.	DESNIVEL	CORR.	D. C.	DESNIVEL	CORR.	D. C.
ABCE	A B	1100	+1.507	-.003	+1.504	+1.504	-.002	+1.502	+1.502	-.001	+1.501
	B C	1000	+2.203	-.003	+2.200	+2.200	-.002	+2.198	+2.198	-.000	+2.198
	C E	950	-1.946	-.002	-1.948	-1.948	-.001	-1.949	-1.948	-.001	-1.949
	E A	900	-1.753	-.003	-1.756	-1.750	-.001	-1.751	-1.750	-.000	-1.750
	TOTAL	3950	+0.011	-.011	0	+0.006	-.006	0	+0.002	-.002	0
CDE	C D	975	-1.446	+.001	-1.445	-1.445	-.001	-1.446	-1.446	-.002	-1.448
	D E	1030	-0.503	+.001	-0.502	-0.500	-.001	-0.501	-0.500	.000	-0.500
	E C	950	+1.946	+.001	+1.947	+1.948	-.001	+1.947	+1.948	.000	+1.948
	TOTAL	2955	-0.003	+.003	0	+0.003	-.003	0	+0.002	-.002	0
AED	A D	900	-1.753	+.003	+1.750	+1.750	.000	+1.750	+1.750	.000	+1.750
	D E	1030	-0.503	+.003	+0.500	+0.500	.000	+0.500	+0.500	.000	+0.500
	E A	1050	-2.247	-.003	-2.250	-2.250	.000	-2.250	-2.250	.000	-2.250
	TOTAL	2980	-0.009	+.009	0	0	0	0	0	0	0

Cota F 50.000
 des. corr. ED +.500
 D 50.500
 DA -2.250
 A 48.250
 AB +1.501
 B 49.751
 BC +2.198
 C 51.949

COMPENSACION DE UNA RED DE NIVELACION

3.3 Equipo

Actualmente se han ido sustituyendo los antiguos tránsi -
tos de un minuto de aproximación, por equipos más moderu -
nos de diferentes marcas y nacionalidades.

El ingeniero suizo Wild, ideó y construyó un nuevo tipo de teodolitos en los cuales en lugar de hacer las lectuu -
ras en los círculos horizontal y vertical por medio de mi -
croscopios micrométricos, diseñó un sistema óptico, que
hace posible se pueda ver a través de un microscopio parau -
lelo al anteojo, las imágenes reflejadas en dos posiciou -
nes diametralmente opuestas de los limbos horizontal y
vertical. Por medio de esta combinación se obtiene direcu -
tamente el promedio de las indicaciones diametralmente
opuestas, con lo que se ahorra tiempo y trabajo.

Estos nuevos teodolitos justifican su más elevado costo
en cuanto brindan mayor comodidad, rapidez de lecturas y
seguridad en el centrado.

Vienen provistos para el centrado, de un sistema óptico
constituido por un prisma a 45° y un pequeño telescopio -
cruzado por hilos, el cual proporciona mayor rapidez de
centrado aun con suave brisa.

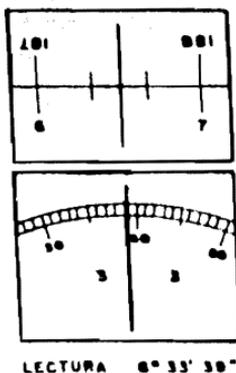
Su sistema de nivelación consiste en un nivel circular cuu -
ya burbuja se centra por medio de tres tornillos, está
provisto además de otro nivel más sensible que viene monu -
tado en la alidada. Para que la nivelación sea más compleu -
ta, tiene otro nivel interior a la alidada que nos da la
más sensible de las nivelaciones por medio de una imagen
de meniscos.

Existen los equivalentes mejorados para el tránsito de mi nuto, los que se han hecho de uso más frecuente; entre ellos el mejor conocido como modelo T-2 que es más preciso y proporciona lecturas de un segundo de aproximación.

También se ha popularizado el uso de el modelo T-3 que proporciona lecturas con una aproximación de una centésima de segundo, lo mismo que el modelo T-2 tienen su mayor aprovechamiento y uso en Geodesia y Triangulaciones topográficas.

3.3.1 Teodolito T-2

Para hacer las lecturas de estos teodolitos, se de ben hacer coincidir las marcas que indican los gr ados que aparecen en el micrómetro, así como se indica en la figura:



Pasos para leer:

- a) Hacer coincidir las divisiones superior e inferior por medio del calibrador correspondiente.
- b) Anotar el valor de los grados que aparezcan a la izquierda del índice.
- c) Se cuenta el número de divisiones entre la lectura en grados y su valor homólogo que se encuentra de cabeza teniendo en cuenta que cada división vale 10 minutos. (en la ilustración del ejemplo ésta, vale 30 minutos).
- d) Se suma a las decenas de minutos el valor de las unidades de minutos que aparece en la parte más inferior del micrómetro.
- e) Se anota la lectura de segundos que aparece en la graduación inferior, pudiendo aproximar hasta la décima de segundo.
- f) Puede repetirse el ajuste de coincidencias del primer inciso para tener mayor seguridad del valor del ángulo. Esta nueva lectura no deberá diferir más de dos segundos.

En estos instrumentos se leen direcciones únicamente, por lo cual para obtener el valor del ángulo se procede a hacer la resta de las dos direcciones que forman el ángulo.

El teodolito T-2 de la marca Wild tiene las siguientes características, que son similares a las

de los teodolitos de otras marcas, de la misma pre
cisión.

Abertura del objetivo	40	mm.
Círculo horizontal	88.8	min.
Círculo vertical	70	mm.
Mínima división del micrómetro	1.0	seg
Mínima aproximación en las lecturas	0.1	seg
Poder amplificador	28	X
Sensibilidad del nivel de placa	20	seg
Sensibilidad del nivel	30	seg
Peso del estuche	8	kg

3.3.2 Mira Invar

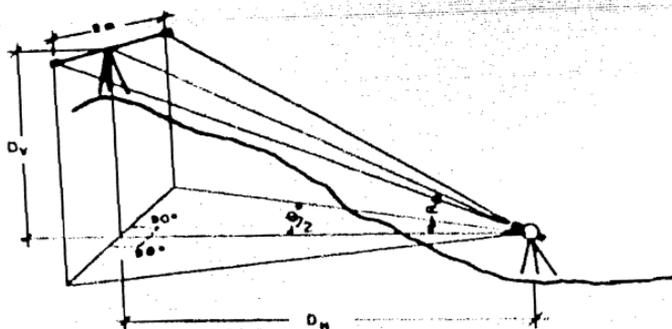
Para la medida de distancias en este tipo de traba
jos se cuenta en la actualidad con equipos electr
nicos tales como el telurómetro, el electro tape,
y el distomat, los cuales rinden una alta eficien-
cia en las mediciones de lados largos, con un muy
buen grado de precisión. Siempre que sea posible
utilizar este tipo de aparatos se alcanzará una ma
yor rapidez y seguridad en las medidas.

Existe también otro equipo para la medida indirecta
de distancias que tiene también un alto grado
de confianza.

La estadia de invar que es en esencia una base de
longitud fija de 2 m. que va montada sobre un trí-
pode y que contiene dispositivos especiales para
colocarla horizontal y perpendicular a la línea -
que se desea medir.

La distancia se puede determinar por un sencillo cálculo trigonométrico, si se conoce el ángulo entre las dos señales de la estadia, observando con un teodolito desde el otro extremo de la línea a medir.

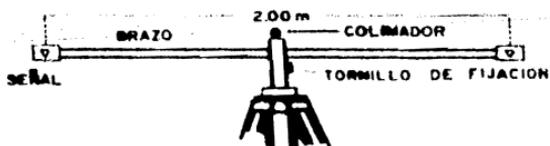
Se denomina de invar, debido a que el material que une las dos marcas es de invar, aleación de acero y níquel principalmente que presenta muy poca variación de longitud por los cambios de temperatura, con lo cual se garantiza que la distancia entre las dos señales se mantiene constante. Por medio de la cabeza nivelante y con la ayuda de un nivel



$$\text{TAN } \alpha/2 = \frac{l}{D_h}$$

$$D = \frac{l}{\text{TAN } \alpha/2} = \text{CTG } \alpha/2$$

circular se logra la horizontalidad de los brazos de la estadia; por medio de un colimador, se da vista hacia el teodolito y cuando se tenga este bien centrado en el campo visual, la estadia está perpendicular a la línea que se desea medir. Basta sólo observar con el teodolito el ángulo entre las visuales a cada una de las señales de la estadia. Debe observarse que este ángulo se mide en un plano horizontal (que es el plano en el cual está el círculo horizontal del teodolito) y que por lo tanto, al calcular trigonométricamente la distancia, se obtiene la longitud horizontal entre los puntos.



ESTADIA DE INVAR

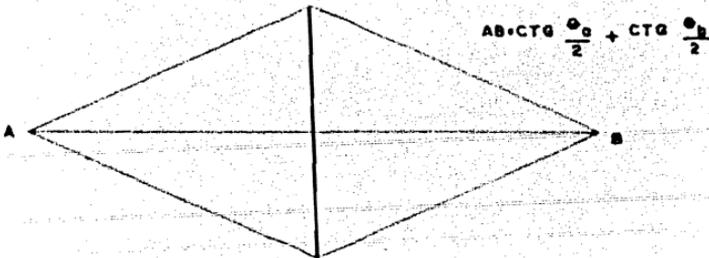
Para calcular el desnivel se necesita medir además el ángulo vertical.

$$D_V = D_H \cdot \text{TAN } \theta$$

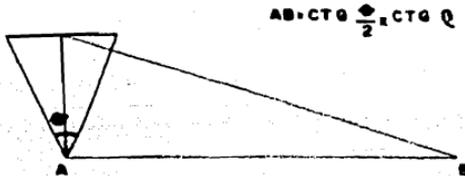
Para mayor facilidad se han elaborado tablas para calcular la distancia en función del ángulo θ . En estas tablas son la tabulación de $\text{CTG } \theta/2$ para valores de θ entre 0° y 5° de segundo en segundo.

Se observa claramente que la exactitud con la cual podemos conocer el valor de la longitud D_H depende de la precisión en la determinación de θ . Por esta razón, el ángulo paraláctico se debe determinar con un teodolito que lea segundos, empleando uno de los tres métodos vistos para medir ángulos con precisión y haciendo la mitad de las observaciones con el anteojo en posición directa y la otra mitad en posición inversa.

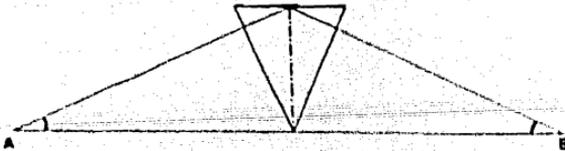
Para obtener resultados satisfactorios, se debe procurar que la distancia medida no sea superior a 200 m. Si se desea medir una distancia mayor y no se requiere bajar la exactitud, se emplea uno de los siguientes métodos.



- a) Medir la distancia en dos partes, colocando la estadia en la parte media.



- b) Determinar la distancia mediante una base auxiliar situada en un extremo de la línea, para la medición de esta base auxiliar se emplea la estadia.



$$AB = c \operatorname{tg} \left(\frac{\phi}{2} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \phi) \right)$$

- c) Determinar la distancia en dos partes colocando la base auxiliar en la parte media de la línea a medir.

Se hace conveniente la recomendación de las siguientes precauciones a fin de obtener la mayor precisión:

- a) Para que las condiciones trigonométricas su -- puestas en el desarrollo teórico se cumplan en el campo práctico, es necesario verificar antes de cada observación que la estadia esté hori - zontal y que sea perpendicular a la línea que se va a determinar.
- b) El teodolito debe estar perfectamente corregido, y en el momento de hacer la observación de be estar bien nivelado para que el ángulo sea verdaderamente horizontal.
- c) Para que el ángulo paraláctico quede perfecta - mente determinado, se debe procurar no hacer observaciones durante condiciones extremas de temperatura y evitar que la visual pase muy cerca al suelo o a cualquier otra superficie, para eliminar las variaciones debido a la re - fracción.

Dicha mira tiene la característica de dar las distancias reducidas al horizonte independientemente de la altura o depresión en que se encuentre la mira.

En la tabla siguiente se muestra la aproxima - ción de la medición en el supuesto que el ángu - lo paraláctico ha sido determinado con preci - sión de ± 1 segundo.

distancia medida en metros	50	100	150	200	300	400	500	600	700
error promedio en cms.	.43 cm.	1.71 cm.	3.86 cm.	6.86 cm.	15.5 cm.	27.5 cm.	42.9 cm.	61.7 cm.	84.0 cm.
error unitario	1/11650	1/5850	1/3900	1/2950	1/1950	1/1450	1/1200	1/1000	1/850

TABLA DE APROXIMACIONES PARA DISTANCIAS

Determinación del Azimut Astronómico

En los levantamientos topográficos, debe hacerse la referencia de uno de los lados de la poligonal envolvente a la meridiana Norte-Sur astronómica por medio de un ángulo, para así establecer una dirección fija de la poligonal.

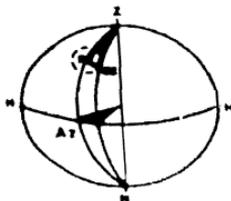
Este ángulo se llama Azimut y se mide sobre el plano del horizonte a partir de la meridiana hasta el lado de la poligonal que se esté orientando.

En topografía se mide a partir del Norte hacia el Este, de 0° a 360°

3.4.1 Método de observación a la Estrella Polar en cualquier momento.

Este método se adapta mejor a la observación de estrellas circumpolares y especialmente al método de la Estrella Polar. Observando con un buen teodolito de un segundo de aproximación angular y conociendo con precisión la latitud y longitud del lugar de observación, es posible obtener el azimut de una línea con un segundo de error probable.

La deducción de la fórmula es a partir del triángulo astronómico que forma el astro con el polo y cenit del observador.



$PK = \text{POLAR}$
 $PC = 90 - \phi$
 $PK = 90 - \alpha$
 $PZ = 90 - \delta$
 $ZPK = \text{ANG HOR}$
 $PZK = A; \text{ de } \alpha$

Por Ley de Senos

$$\frac{\text{sen } Pz\epsilon}{\text{sen } P\epsilon} = \frac{\text{sen } zP\epsilon}{\text{sen } z\epsilon}$$

$$\therefore \text{sen } Pz\epsilon = \frac{\text{sen } zP\epsilon \text{ sen } P\epsilon}{\text{sen } z\epsilon}$$

$$\text{sen } Az = \frac{\text{sen } h \cos \delta}{\cos A}, \quad Az = \text{Azimut}$$

Para el cálculo del azimut es necesario el cálculo previo del ángulo horario. Esto implica la necesidad de disponer de la hora y longitud del lugar con cierta exactitud.

También es indispensable la ayuda del Anuario Astronómico editado por la U. N. A. M., el cual nos proporciona datos indispensables.

3.4.2 Ejemplo de cálculo

Observaciones hechas a la Polar el día 17 de Enero de 1977 en Ciudad Universitaria, México.

Posición	Tiempo	Ang. Horizontal tal	Ang. Vertical
1) + D	20 h 57 m 29.5 s	57°23' 37.7"	69°54' 43.2"
2) + D	20 h 58 m 35.3 s	57°23' 19.0"	69°54' 52.8"
3) + D	20 h 59 m 40.0 s	57°23' 00.3"	69°55' 01.8"
4) + I	21 h 02 m 51.0 s	237°22' 20.0"	290°04' 39.8"
5) + I	21 h 03 m 59.5 s	237°22' 03.2"	290°04' 27.5"
6) + I	21 h 04 m 47.2 s	237°21' 48.5"	290°04' 18.9"
Promedio	21 h 01 m 13.7 s	57°22' 41.5"	69°55' 12.3"

TEMPERATURA 18°C

PRESION 724 mm Hg

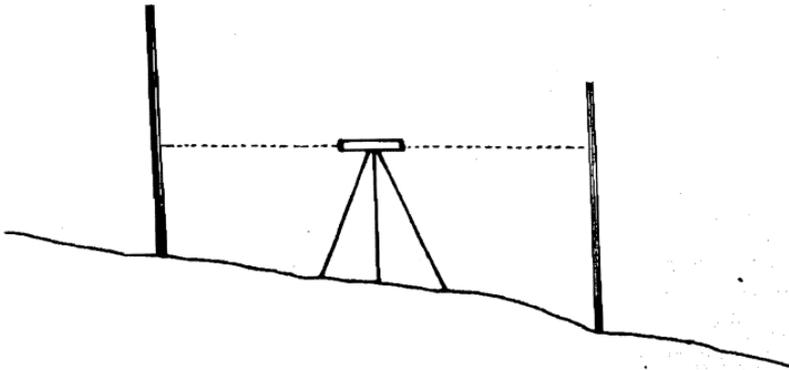
a) Cálculo del Angulo Horario

Hora de la observación	<u>21 h 01 m 13.7 s</u>
Hora de paso	<u>18 h 22 m 38.4 s</u>
Diferencia	<u>2 h 38 m 35.3 s</u>
Corrección para Sidereo	<u>26.05 s</u>
	<u>2 h 39 m 01.35 s</u>
Diferencia de longitud	<u>36 m 44.2 s</u>
Angulo horario	<u>2 h 02 m 17.15 s</u>
	30° 39' 17.15"

b) Cálculo del Azimut

Λ = Altura de la Polar (corr. por ref. y paral.)	20° 02' 26.6"
δ = Declinación (tomada del anuario para la fecha)	89° 09' 53.27"
h = Angulo horario	30° 39' 17.25"

$$\text{Sen Az} = \frac{\cos \delta \text{ sen } h}{\cos \Lambda} \quad \text{Az}_{\text{astro}} \quad 27' 11.8''$$



3.5.1 Control semanal de una explotación Nivelación por medio de prismas.

Este método sirve propiamente para nivelar amplias superficies como: terrenos de cultivo, patios de escuela, etc. Haciéndole algunas adaptaciones y consideraciones, sirve para calcular volúmenes y como sistema de control.

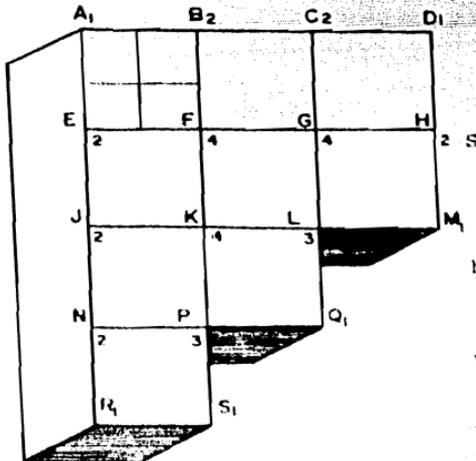
Para este método de nivelación, se requiere que se haya establecido una red cuadrículada homogénea de estacas por toda la superficie que se quiera controlar. Esta cuadrícula debe haber sido establecida con anterioridad al inicio de la explotación.

El tamaño de las divisiones variará según la inclinación del terreno. Esto significa que para un terreno plano, bastará una red de menor número de cuadrículas. Y para un terreno inclinado, se requerirá aumentar la densidad de las cuadrículas.

Para mejor comprensión, explicaremos el método por una figura que representa una porción idealizada de superficie y espesor conocidos, a semejanza de la cual se podrá generalizar para un número mayor de vértices.

A, B, ...R, S puntos estacados en la superficie anterior a la explotación.

1, 2, 3, 4 índice del número de prismas individuales que concurren en las estacas.



superficie unitaria del prisma supestuestamente plana.

espesores de los prismas

volumen total de terracerías.

Se tendrá que efectuar una nivelación cada vez que se quiera conocer el volumen extraído, haciendo las diferencias de alturas entre las cotas de las estacas iniciales y las de las fechas posteriores, estas alturas representan las alturas de los prismas. Conociendo los valores de los volúmenes extraídos en función de h y las superficies de los prismas.

$$V = \left[\begin{array}{l} \frac{S}{4} h_{1a} + \frac{2S}{4} h_{2b} + \frac{2S}{4} h_{2c} + \frac{S}{4} h_{1d} + \frac{2S}{4} h_{2e} + \frac{4S}{4} h_{4f} + \\ \frac{4S}{4} h_{4g} + \frac{2S}{4} h_{2h} + \frac{2S}{4} h_{2j} + \frac{4S}{4} h_{4k} + \frac{3S}{4} h_{3l} + \frac{S}{4} h_{1m} + \\ \frac{2S}{4} h_{2n} + \frac{3S}{4} h_{3p} + \frac{S}{4} h_{1q} + \frac{S}{4} h_{1r} + \frac{S}{4} h_{1s} \end{array} \right]$$

la cual podemos transformar en

$$V = \frac{S}{4} \times \left[\begin{array}{l} h_{1a} + 2h_{2b} + 2h_{2c} + h_{1d} + 2h_{2e} + 4h_{4f} + \\ 4h_{4g} + 2h_{2h} + 2h_{2j} + 4h_{4k} + 3h_{3l} + h_{1m} + \\ 2h_{2n} + 3h_{3p} + h_{1q} + h_{1r} + h_{1s} \end{array} \right]$$

y si agrupamos las estacas según el número de prismas que concurren a ellas.

$$\begin{aligned}
 V = \frac{S}{4} & (h_{1a} + h_{1d} + h_{1m} + h_{1n} + h_{1q} + h_{1r} + h_{1s}) + \\
 & + (2h_{2b} + 2h_{2c} + 2h_{2h} + 2h_{2j} + 2h_{2n}) + (3h_{3i} + \\
 & + 3h_{3p}) + \\
 & (4h_{4f} + 4h_{4g} + 4h_{4k})
 \end{aligned}$$

y simplificamos dentro de los paréntesis,

$$V = \frac{S}{4} (\Sigma h_1 + 2 \Sigma h_2 + 3 \Sigma h_3 + 4 \Sigma h_4)$$

Obtenemos la fórmula condensada para el cálculo del volumen.

Este método tiene el inconveniente de que los cuatro vértices de los rectángulos trazados en el suelo natural, no se encuentran en un mismo plano, por lo tanto cuando se requiere mayor precisión en la cubicación de volúmenes, es necesario trazar las diagonales en los rectángulos, para así acercarse más a la superficie real del terreno.

Siguiendo un proceso semejante se obtiene la fórmula para el cálculo del volumen.

3.6 Configuración

El objeto de trazar radiaciones por toda la superficie en estudio, es la de poder localizar las curvas de nivel de la configuración de el área en estudio. Es necesario obtener la total configuración del área explotada para con-

trol, así como la configuración de los perímetros de ésta. Varios de los métodos de cubicación se apoyan en la configuración del terreno, como ejemplo, el método de secciones que más adelante se describe.

La etapa de configuración se realiza después de medida y compensada la poligonal envolvente y después de niveladas las estacas de ésta.

La etapa de configuración es de gran importancia porque representa las curvas de nivel que después se dibujarán a escala en un plano, para que posteriormente sobre éste, se proceda a planear la mejor colocación de las secciones que servirán para calcular los volúmenes por el procedimiento que adelante se explica.

La etapa de configuración se puede realizar con equipo ordinario de campo, como lo es: un teodolito de 01' de aproximación y el mayor número de estadaleros con que se puede contar.

Es conveniente que la brigada de levantamiento tenga los siguientes cuidados a fin de alcanzar los mejores resultados:

- a) Estacionar el estadal lo más vertical posible.
- b) Conviene marcar en el estadal con una liga la altura de el aparato, que es la que se tendrá que leer. Cuando debido al desnivel no sea posible leer la altura del aparato en el estadal,

se intersecta con el hilo medio del aparato una lectura cerrada en metros que sí sea visible. Esto se debe tener en cuenta en el registro de anotaciones.

- c) Deberá tenerse en cuenta la futura escala a la que se dibujará la configuración para considerar si los detalles que se seleccionan aparecerán de un tamaño importante que valga la pena medir.
- d) De ser posible, seleccionar los detalles por configurar en una misma línea, para así no hacer demasiadas lecturas de círculo horizontal, porque en el plano de dibujo se dificulta precisar tantas radiaciones.
- e) Se procurará espaciar o distribuir una densidad regular de puntos sin que se representen demasiados detalles o el caso contrario, que queden amplias zonas sin configurar, con lo que se pierde veracidad.
- f) El anotador, deberá ir dibujando un croquis con la localización aproximada de los puntos radiados para facilitar su localización en el plano final.

Con el valor de la diferencia de hilos y los ángulos vertical y horizontal, se emplean las siguientes fórmulas.

$D = CA \cos^2 \alpha + c \cos \alpha$ PARA DISTANCIA HORIZONTAL

$H = 1/2 CA \text{ SEN } 2 \alpha + c \text{ SEN } \alpha$

C = constante grande del aparato.

c = constante chica del aparato

λ = espacio entre hilos o lectura en el estadal

α = lectura del círculo vertical a la marca de la altura del aparato en el estadal.

3.6.1 Trazo de secciones

Se entiende por sección de dibujo, el dibujo de el corte en proyección vertical de el perfil del terreno.

El trazo y localización de las secciones se realiza sobre el dibujo del plano que representa la configuración del fondo del terreno de la zona en estudio.

Conviene que dicho dibujo se realice sobre papel de poca deformación, para tener así la menor deformación posible eliminando una fuente de errores. Este dibujo se traza a escala y se procura que sea manuable, se sugiere pues la escala 1/100, en la cual se representan claros los detalles necesarios.

Los perfiles de las secciones se dibujan también sobre papel milimétrico para facilitar así el cálculo de su área. Igualmente la escala de 1/100 representa una buena cantidad de detalles. El objeto de dibujar tales secciones, es el de calcular sus áreas, para que por medio de la fórmula del prismoide se calcule el volumen contenido entre dos secciones contiguas. La fórmula que se utiliza en este caso es:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} d$$

en la que se promedian los valores de las áreas de dos secciones contiguas y se multiplican por la distancia que hay entre ellas.

Si se van ordenando los valores obtenidos, se tendrá una lista de volúmenes, que al sumarse nos dará un valor total para el volumen, que es bastante cercano a la realidad.

Este método es derivado del que se utiliza en el trazo de proyectos para carreteras. Se hacen tradicionalmente secciones a cada 20 metros, aunque se podrán hacer variables a conveniencia según sea más cómodo.

Enseguida se describe el procedimiento para el trazo de secciones y para el cálculo de volúmenes.

- a) Se elije para sentido de cadenamiento uno paralelo al eje X o al Y a fin de ser ordenados.
- b) Todas las secciones tendrán sentidos paralelos.

- c) Para el espaciamiento entre secciones, se consi
deran dos casos: 1) en el caso en que las pare
des de la explotación sean verticales, y 2) el
 caso de que se hayan derrumbado con alguna pen-
 diente. Si las paredes son verticales el perfi-
 metro de la zona quedará mejor definida y por
 lo tanto facilitará el dibujo de su planta.

Por eso las secciones se podrán espaciar en los
 puntos donde cambie de dirección el perímetro
 de la cantera. Esto es con objeto de que los
 tramos de perfil entre sección y sección sean
 lo mas rectos posible, para que así sean más re
gulares los trapezoides que se formen entre dos
 secciones.

Si es el segundo caso, es más conveniente que
 las secciones se espacien cada 20 metros para
 mejor control procediéndose a hacer el levanta-
 miento de el perfil de cada sección por el méto-
 to de estadia.

- d) Se dibujan las secciones en papel milimétrico o
cala.
- e) Se calcula el área de cada sección. Para esto
 debe considerarse el caso de que un tramo recto
 del perfil del terreno coincida con el plano de
 la sección. Entonces una misma sección tendrá
 un área vista por un lado de la sección y otra
 vista por el otro lado de la sección.
- f) Se miden las distancias entre secciones y se uti
liza la fórmula del prismaide.

C A P I T U L O 4

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO POR EL METODO FOTOGRAFICO

Introducción

4.1 Características

- 4.1.1 Fotogrametría aérea y terrestre
- 4.1.2 Clasificaciones según la posición del eje óptico
- 4.1.3 Escala
- 4.1.4 Recubrimiento

4.2 Informaciones generales

- 4.2.1 Características de la película
- 4.2.2 Buenos resultados métricos
- 4.2.3 Algunas dificultades atmosféricas y físicas

4.3 Ventajas y desventajas de este método

4.4 Orientación y plan de vuelo

- 4.4.1 Orientación interior
- 4.4.2 Orientación relativa
- 4.4.3 Pasos para la planeación
- 4.4.4 Ejemplo

4.5 Control terrestre

- 4.5.1 Puntos de control
- 4.5.2 Marcas artificiales

4.6 Rectificación y restitución

4.6.1 Rectificación

4.6.2 Restitución

4.6.3 Clasificación de instrumentos

4.7 Resumen

Introducción

Este método está basado en la utilización de las características métricas de las fotografías relativas al terreno.

Utilizando procesos que más adelante se mencionan, es posible, por medio de una superposición adecuada de las imágenes homólogas impresas en dos placas contiguas, observar un fenómeno óptico llamado Estereoscopia.

La Estereoscopia, es la aplicación de la facultad innata en el hombre de la apreciación del relieve, es decir, de las diferentes distancias a las que se encuentran los objetos. La explicación de este fenómeno consiste en que cada ojo ve una perspectiva diferente del mismo objeto.

Debido a la posición relativa de los dos ojos del observador, las dos imágenes que del objeto se forman en la retina, son diferentes. La combinación de estas dos imágenes, produce la sensación de relieve.

La aplicación de este principio hizo posible el proceso fotogramétrico, que consiste en hacer planos topográficos, y otros muchos resultados, a partir de pares de fotografías tomadas desde puntos diferentes, los cuales al ser proyectados bajo ciertas condiciones reproducen fielmente el terreno, con todas sus características, inclusive de relieve.

4.1 Características

Existen una gran variedad de factores y detalles que de -ben considerarse en la planeación y ejecución de un levan tamiento fotogramétrico. Esto debido a la variedad de instrumentos, materiales y recursos de que se puede echar mano. Gracias a las combinaciones de éstos, es posible obtener varias alternativas o posibilidades de solución.

Mencionaremos varios de estos elementos para conocerlos y poder administrar mejor las posibilidades que estos métodos nos proveen.

4.1.1 Fotogrametría aérea y terrestre.

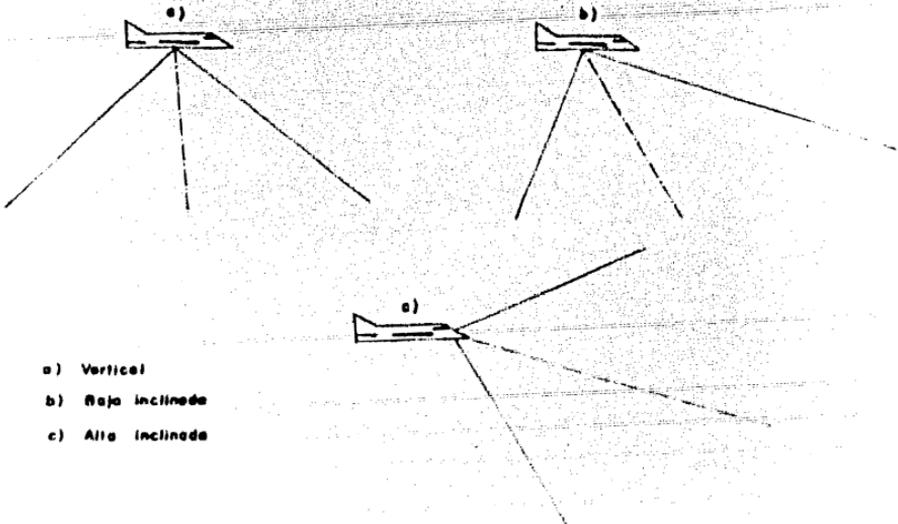
Comencemos por mencionar las dos clasificaciones principales de la fotogrametría.

- a) Fotogrametría aérea.- Es aquélla en la que las placas fotográficas se obtienen montando una cámara en un vehículo aéreo. Será a este tipo de técnicas a las que nos referiremos más ampliamente en este trabajo.
- b) Fotogrametría terrestre.- Es aquélla en la que se obtiene la toma de placas con una cámara fotográfica montada en el terreno o muy cerca de éste, conservando su eje horizontal.

4.1.2 Clasificaciones según la posición del eje óptico.

La fotogrametría aérea se subdivide también según la posición del eje óptico de la cámara, en tres categorías.

- a) De eje vertical.- Aunque las condiciones atmosféricas no permiten tomar fotografías aéreas con el eje absolutamente vertical, se admiten en esta clasificación aquellas en las que casi coincide éste, aceptándose generalmente una pequeña variación hasta de casi 5° de desviación con el eje vertical.
- b) Baja inclinada. En esta clasificación se incluyen las fotografías cuyo eje óptico es más inclinado que en el caso anterior, pero en cuyas tomas no aparezca el horizonte aparente del relieve terrestre.
- c) Alta inclinada. En estos casos la inclinación del eje permite que en la toma de la fotografía aparezca el horizonte aparente del terreno.



Cada una de las clasificaciones anteriores son de diferente utilización, para la obtención de aplicaciones diversas, pero en este capítulo, nos referiremos más ampliamente a las fotografías de eje vertical.

4.1.3 Escala

Entre las decisiones que se deben tomar durante la planeación del proyecto, está la de seleccionar la escala a la que aparecerán los objetos en las fotografías, ésta, está en función de: 1o. La distancia focal de la cámara que se emplee, 2o. La altura de vuelo a la que se efectúe la operación.

Es preferible elegir su valor como el más pequeño posible de acuerdo con el presupuesto económico y las limitaciones técnicas de la ejecución.

4.1.4 Recubrimiento en fotografías aéreas

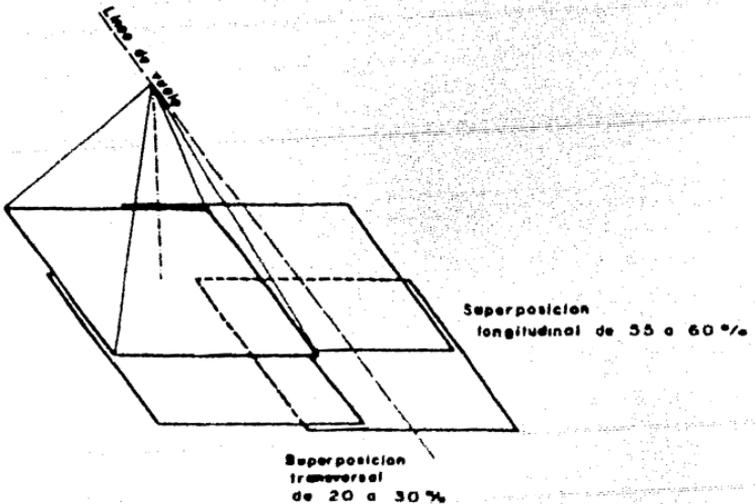
En esta etapa se persigue el objetivo de lograr un modelo estereocópico completo del área fotografiada, para analizarlo por métodos estereoscópicos o instrumentos óptico-mecánicos.

El modelo estereocópico se logra tomando las fotografías aéreas con traslape en las tomas del terreno, de tal manera, que un punto cualquiera del terreno aparezca al menos en dos fotografías contiguas con lo cual, se podrá observar la visión estereoa. Esto se realiza con un avión que sobrevuela el área en estudio, tomando fotografías en bandas

rectas con una conveniente superposición longitudinal entre fotografías de una misma línea y con superposición transversal entre bandas de fotografías.

Es conveniente que estas superposiciones tengan los siguientes valores, para asegurar el estereomodelo completo:

- a) Entre fotos de una misma banda de 55% a 60%
- b) De una banda a otra de 20% a 30%



4.2 Informaciones generales

Continuaremos dando a manera de información, algunos de los recursos del método fotogramétrico, tales como el uso de filtros, el uso de películas fotográficas especiales, el aprovechamiento de diferentes tonos y contrastes, etc. Aplicando las convenientes combinaciones de estos recursos y sus características, podemos explotar una amplia gama de información de las fotografías y mejorar los resultados.

4.2.1 Características de la película

Las características de la película son importantes y se hace necesaria una adecuada planeación de sus capacidades. Las más importantes son: su sensibilidad, que puede ser rápida o lenta, su tipo de grano, indeformabilidad, capacidad de resolución y otras.

Entre los tipos de sensibilidad más importantes están, la película de colores, la infrarroja, la de falso color y la pancromática.

Se hará uso de el diferente tipo de sensibilidad de la película, según el tipo de información que se quiera obtener, por ejemplo, mencionaremos lo siguiente.

En los casos de epidemias en las zonas boscosas, es más fácil y cómodo de percibir y cuantificar su magnitud en películas infrarrojas, lo cual sería casi invisible en una película normal. También en el caso de censos por medio de fotografías aéreas es más fácil de registrar en películas de falso color las

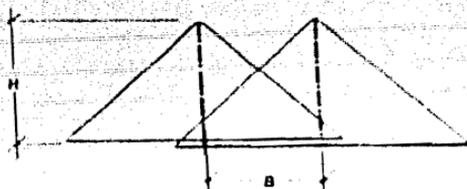
diferentes apariencias de los tipos de cultivos, de cada grupo de objetos o de las características superficiales del terreno que aparecen en las fotografías. Toda esta información es actualmente captada por sensores remotos montados en satélites o en aviones a gran altura con fines estadísticos.

4.2.2 Buenos resultados métricos

Al planificar una operación fotogramétrica, deberá tenerse en cuenta también, el propósito que se persigue en los resultados, considerando la necesidad de: a) fotografías con buenos resultados métricos o b) buenas características de imagen; lo primero tiene aplicación si el fin es confeccionar mapas topográficos y lo segundo si lo que se persigue, es fotointerpretar exhaustivamente el área.

Para aclarar lo anterior, mencionemos dos definiciones necesarias.

- a) Base de un modelo estereoscópico.- Distancia entre dos puntos de toma de fotografías consecutivos sobre una misma línea de vuelo.
- b) Altura de vuelo.- Altura promedio de la operación sobre el nivel de referencia del terreno.



- a) Para obtener los primeros, se requiere que la cámara fotogramétrica utilizada, sea debidamente calibrada y que la altura de vuelo sea baja, o lo que es lo mismo, que el cociente de la base entre la altura sea grande. También se requiere utilizar una película de grano fino con buena resolución, usar cámaras de tipo gran angular (cobertura de 90° y distancia focal de 150 mm.), o cámaras super gran angular (cobertura de 120° y distancia focal de 80 mm.).
- b) Para obtener buenas características de imagen, será necesario utilizar lentes de gran calidad y una mayor altura de vuelo, lo que significa, que la relación de la base entre la altura, sea pequeña. Se requerirá también emplear emulsiones rápidas y de grano grande, se recomienda hacer uso de película para colores o infrarroja.

4.2.3 Algunas dificultades atmosféricas y físicas.

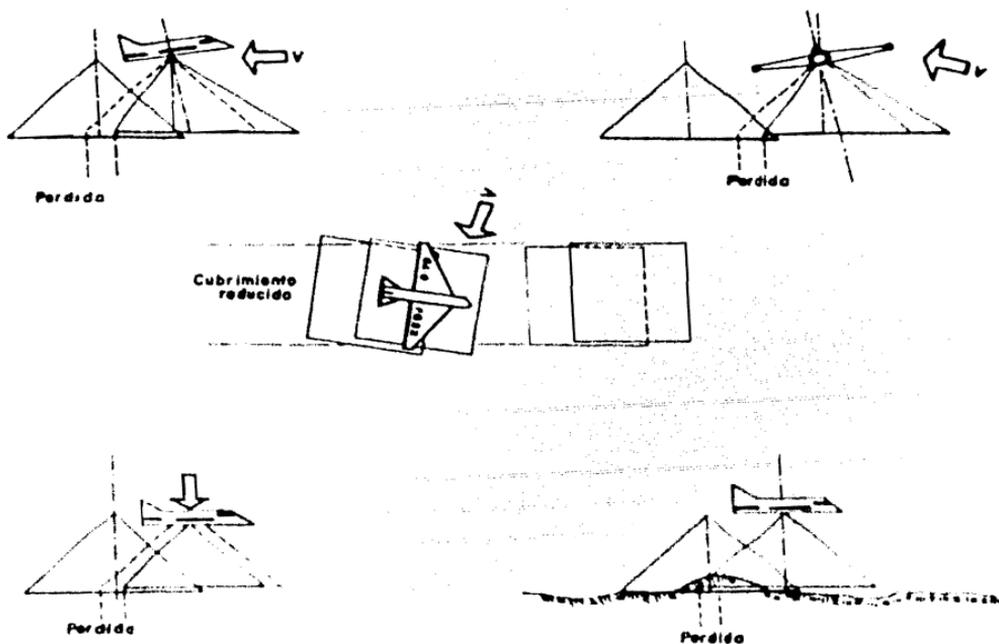
Para la correcta ejecución de este tipo de labores se requiere de la habilidad y experiencia de un equipo instruido y entrenado, ya que en ocasiones se tendrán que vencer las dificultades que presenta la incontrolable atmósfera, lo cual es de muy difícil predicción.

Haremos aquí, un pequeño resumen de las frecuentes dificultades y sus consecuencias, a fin de tener una idea de ellas.



- a) Frecuentemente la presencia de nubes en el cielo, ocasiona la aparición de contrastantes nombras en la superficie del terreno, lo cual puede ocultar rasgos importantes.
- b) Existe la dificultad de el avión para mantener una trayectoria recta de vuelo, ocasionada por las repentinas corrientes térmicas de la atmósfera, con lo que hay notables cambios en la dirección del vuelo (deriva) y de la altura calculada para la operación. Esto se traduce en pérdida de regularidad y traslape de las tomas, como se muestra en las siguientes figuras.

CAUSAS DE PERDIDA DE CUBRIMIENTO



4.3 Ventajas y desventajas de este método

El gran avance técnico y científico de la Era Moderna ha puesto al alcance del hombre una serie de mejoras que la técnica fotogramétrica ha aprovechado para lograr venta - jas sobre los métodos tradicionales de levantamiento. A continuación enlistaremos algunas de ellas.

- a) Pueden alcanzar un alto grado de precisión y fidelidad de reproducción, ya que se emplean en la ejecución, instrumentos calibrados, procesos de laboratorio contro lados e instrumentos opticomecánicos de precisión, con los que se logra una gran confianza en los resultados.
- b) Se reducen en estos métodos la amplitud de los trabajos de campo, que tienen la desventaja de ser caros y len tos.
- c) Requieren para su ejecución de la participación de per sonal capacitado, el cual, si cuenta con condiciones favorables, entregará en pocos días los resultados fin lea.
- d) Gracias a la utilización de aparatos opticomecánicos, se puede realizar con éstos, mediciones numéricas de coordenadas para puntos del terreno y obtener rápida - mente datos de perfiles longitudinales y de secciones transversales de un modelo digital.
- e) A los instrumentos opticomecánicos, se pueden acoplar anexamente computadores electrónicos que procesan la información, alcanzando así economía de esfuerzo y tiempo al igual que seguridad en los cálculos que se realicen. A estos computadores electrónicos se les alimenta con la información que se obtenga de el ente-

reomodelo, la cual se perfora en tarjetas o cintas que se procesa para hacer los cálculos, según la dirección de un programa preelaborado que reporta sus resultados en listas impresas.

- f) Estos métodos de levantamiento, son particularmente - mas cómodos y económicos, a medida que aumenta la ex - tensión de las áreas por estudiar.
- g) Logra eficazmente series de resultados de gran calidad cuantitativa y cualitativa con interés al enfoque de otros estudios científicos, como los geológicos, estadísticos, agronómicos, etc.
- h) Debido a la duración de los materiales fotográficos que se emplean, se facilitan el almacenamiento y con - servación de los resultados de los trabajos realizados.
- i) Lo anterior facilita el aprovechamiento de información almacenada, con lo que se puede satisfacer una necesidad posterior. Esto significa en ocasiones, un gran ahorro en los presupuestos de gastos económicos de un segundo levantamiento del área.
- j) Debido a su amplio reconocimiento y desarrollo se han creado oficinas especializadas, tanto privadas como por parte de el Estado. Tal es el caso de México, en donde se ha instituido el DETENAL (Departamento de Estudio del Territorio Nacional), que es una institución que po ne al alcance del público información a quien la solici te.

Es sin embargo conveniente, considerar una serie de desven tajas para obtener de estos métodos, resultados satisfac torios.

- a) Requieren de una esmerada planeación y atención de los numerosos factores que intervienen para evitar riesgos incorregibles o incosteables.
- b) Contrariamente a la ventaja del inciso f), este procedimiento se vuelve incosteable a medida que se reducen las áreas por fotografiar, pues es relativamente alto el costo y mantenimiento de el equipo necesario.
- c) Hay épocas del año en las que es más frecuente enfrentar eventualidades de tipo climático que retrasen los plazos normales de ejecución de un trabajo.
- d) Existen zonas con densa vegetación, en las cuales se dificulta o imposibilita la aplicación de estos métodos aerofotográficos.

4.4 Orientación y plan de vuelo

Para todas las mediciones fotogramétricas es necesario contar con una cámara fotográfica, cuyos elementos de orientación sean conocidos.

4.4.1 Orientación interior

Los elementos de ésta son:

- a) La distancia focal, que es la distancia desde el centro de proyección hasta el plano de la imagen.
- b) La posición del punto principal en el plano de la imagen, el cual deberá estar claramente referenciado.

- c) La distorsión de la cámara, con el objeto de conocer las imperfecciones localizadas en el objetivo de la cámara.

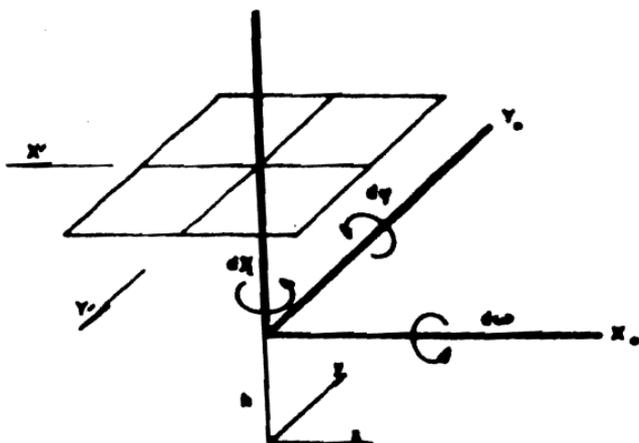
Estos elementos se miden y controlan, ya que son susceptibles de calibración, a fin de asegurar óptimos resultados.

4.4.2 Orientación exterior

La orientación de la cámara consta de seis elementos; las tres coordenadas: X, Y, Z, de un sistema tridimensional de coordenadas ortogonales y los tres ángulos de rotación: \mathcal{X} , Ψ y ω .

La rotación \mathcal{X} se produce alrededor del eje de la cámara. La rotación Ψ , alrededor de un eje perpendicular a la dirección de vuelo. Y la rotación ω alrededor de un eje paralelo a la dirección de vuelo.

En la práctica no es posible, ni necesario tampoco, determinar completamente la orientación exterior de una fotografía aérea. Los elementos de mayor interés son: la coordenada \underline{Z} o sea la altura de vuelo, las rotaciones Ψ y ω , y hasta cierto punto la rotación \mathcal{X} .



ELEMENTOS DE LA ORIENTACION EXTERIOR

4.4.3 Pasos para la planeación del vuelo.

Para emprender el trabajo de tomar las fotografías es necesario planear la manera de ejecutar esta operación, lo cual puede hacerse a través de los siguientes pasos:

- a) Estudiar sobre los planos disponibles de la región, la manera más económica y segura de efectuar los vuelos desde un aeródromo cercano.
- b) Se diseña un plano en el que se eligen las líneas de vuelo más convenientes. Se elige como sentido de las fajas de vuelo, aquél, en el que

haya menor número de línea de vuelo, para así ahorrar tiempo, a fin de asegurar el trabajo. El sentido por lo general será el del lado más largo de un rectángulo que contenga el área por fotografiar.

- c) El plano de vuelo se entrega al piloto, para que éste, mediante una inspección, seleccione los detalles del terreno que le sirvan de indice o señales para su recorrido durante la toma de fotografías.
- d) Realizar antes de la toma de fotografías un recorrido final a manera de ensayo, para efectuar las últimas calibraciones y revisiones al altímetro.

Para la planeación del vuelo se deben calcular:

- A) La altura de vuelo de la operación.
- B) El área cubierta de cada fotografía y su área útil para el fenómeno estereoscópico.
- C) El intervalo de tiempo entre los disparos del obturador.
- D) El número de fajas de vuelo.
- E) El número total de fotografías

Los cálculos anteriores se pueden realizar si se conocen:

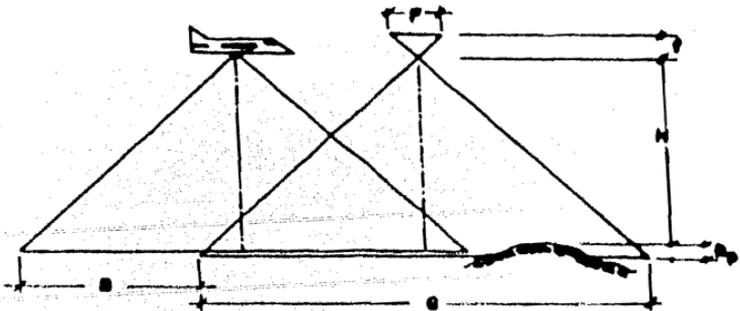
- a) La distancia focal de la cámara que se emplea, (f)

- b) La escala requerida de las fotografias,.... (S)
- c) La superposición longitudinal y transversal,..... (B y W)
- d) El tamaño de los negativos o formato,..... (F)
- e) La altura de vuelo,..... (H)

Explicaremos en seguida como se calculan estos factores:

- A) Cálculo de la altura de vuelo

ELEMENTOS PARA LA PLANEACION DEL VUELO



Según el dibujo:

H...Altura de vuelo

f...Distancia focal

F...Formato de la fotografía

G...Lado del área fotografiada en cada exposición

B...Área sin superposición longitudinal

W...Área sin superposición transversal

h_p ...Altura promedio del terreno

S_p ...Escala promedio del negativo

De la figura

$$\frac{F}{f} = \frac{G}{H} \quad \text{o bien} \quad \frac{F}{G} = \frac{f}{H}$$

también sabemos que

$$S = \frac{\text{medida sobre la foto}}{\text{medida sobre la tierra}} = \frac{F}{G} = \frac{f}{H}$$

$$\therefore S_p = \frac{f}{H - h_p} \quad \text{de la cual} \quad H = h_p + \frac{f}{S_p}$$

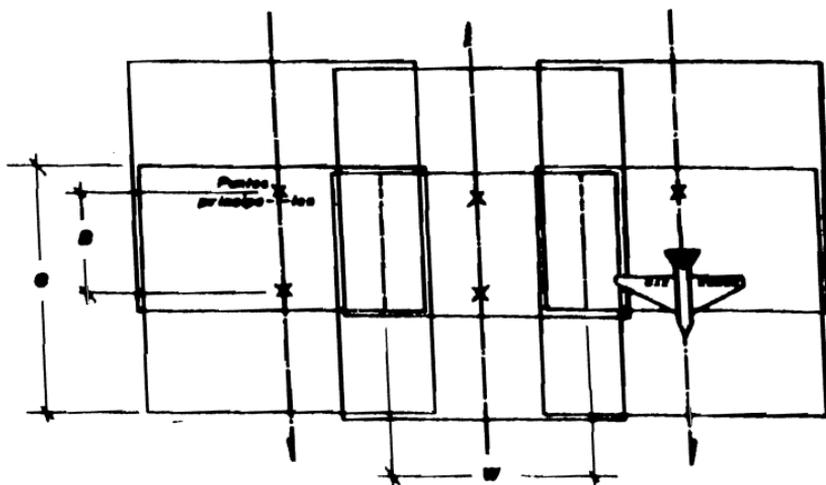
B) Cálculo del área cubierta en cada fotografía:

a) cubrimiento lateral $G = \text{Formato} \times \text{Escala}$

b) cubrimiento longitudinal $B = 0.4 G$

c) cubrimiento transversal -
efectivo $W = 0.7 G$

d) área estereoscópica de -
cada fotografía $A = B \times W$



SOBREPOSICION DE FOTOGRAFIAS

- C) Cálculo del intervalo del disparo entre dos exposiciones.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}} \quad \therefore \quad \text{Tiempo} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Velocidad}}$$

Lo más frecuente, es que se realicen operaciones a velocidades promedio de 150 a 300 km/h.

- D) Cálculo del número de fajas de vuelo.

Para garantizar el cubrimiento total de la zona, se debe aumentar a lado y lado del ancho real del terreno una cuarta parte del cubrimiento lateral total de una fotografía (en total este aumento valdrá: $\frac{1/2 \times G}{W}$)

$$\therefore \text{Número líneas} = \frac{\text{Ancho del área} + \frac{1/2 \times G}{W}}$$

E) Cálculo del número total de fotografías

a) Cálculo de fotografías por faja

Es necesario efectuar la toma de dos fotografías más, al inicio de la línea y dos más, al final para un estereomodelo completo.

∴ Número total de fotos por franja =

$$\frac{\text{Largo del área}}{B} = + 2 + 2$$

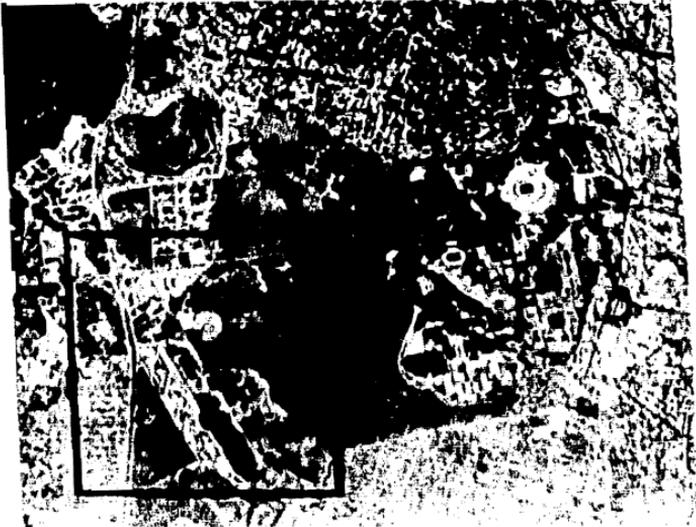
b) Cálculo del número total de fotografías

Número de fotos = Número de líneas de vuelo x
Número de fotos por faja

A continuación desarrollaremos un ejemplo, en el que se calculan todos los elementos de un plan de vuelo para una zona pequeña en la que existen varios bancos de extracción de materiales. La manera de atacar el problema, es la misma para el caso de una zona más extensa por analizar.

4.4.4 Problema

Calcular los elementos para efectuar una misión de vuelo, si se trata de fotografiar un área de 2.5 km de ancho x 3 km de largo, sabiendo que: 1) la velocidad del avión es $V = 160$ km/h, 2) la distancia focal de la cámara es $f = 152.4$ mm., 3) la escala promedio requerida de las fotografías $S = 1:10,000$, 4) la altura promedio del terreno en la zona incluyendo los desniveles de las canteras es $h_p = 50$ m, 5) las dimensiones de las fotografías, $F_p = 9" \times 9"$, 6) las sobreposiciones de traslape entre fotografías de 60% longitudinalmente y 30% transversalmente.



A) Altura de vuelo de la operación:

$$H = h_p + \frac{f}{S_p} = 50 \text{ m} + \frac{0.152 \text{ m}}{\frac{1}{10000}} = 1574 \text{ m}$$

B) Cálculo del área cubierta en cada fotografía:

a) Cubrimiento lateral

$$\text{Si } S = 1/10000$$

$$G = 9p_l \times 0.0254 \text{ m/p}_l \times 10000 = 2286 \text{ m.}$$

b) Cubrimiento longitudinal efectivo

$$B = 0.4 \times G = 0.4 \times 2286 \text{ m} = 914.40 \text{ m}$$

c) Cubrimiento transversal efectivo

$$W = 0.7 \times G = 0.7 \times 2286 \text{ m} = 1600.20 \text{ m}$$

d) Área estereoscópica de cada fotografía

$$A = B \times W = 914.40 \times 1600.20 = 1463222.88 \text{ m}^2$$

C) Cálculo del intervalo entre dos disparos

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Velocidad}} = \frac{914.40 \text{ m}}{\frac{160000 \text{ m}}{3600 \text{ seg}}} = 20.6 \text{ seg}$$

D) Cálculo del número de fajas de vuelo

$$\text{Número líneas de vuelo} = \frac{2500 \text{ m} + 1/2 \times 2286}{1600.20} = 2.28 \therefore \text{se usarán } 3 \text{ líneas}$$

E) Cálculo del número total de fotografías

$$\text{a) Número de fotografías por franja} = \frac{3000}{914.4} + 4 = 7.28 \therefore \text{se pondrán usar } 7 \text{ fotografías.}$$

$$\text{b) Número total de fotografías} = 3 \times 7 = 21 \text{ fotografías}$$

4.5 Control terrestre

En los trabajos fotogramétricos, se requiere principalmente de la ejecución de dos etapas de campo: 1o. establecimiento de puntos de control, 2o. diseño y colocación de señales de control.

4.5.1 Puntos de control

Los puntos de control son necesarios para la orientación absoluta de los modelos fotogramétricos. El número y calidad de estos puntos, dependerá de la calidad de control que se establezca y de las especificaciones para el resultado final.

Para fijar el control vertical del modelo, es necesario haber establecido tres puntos de control con sus respectivas coordenadas X, Y, Z, que aparezcan en las fotografías, a fin de poder nivelar el modelo y después propagarlo donde sea necesario. De la misma manera, para orientarlo planimétricamente, se requerirá de sólo dos puntos de posición X, Y, conocidas, a fin de orientar una línea principal.

Será conveniente que se establezcan más puntos de control, para que sea posible una comprobación de la nivelación y orientación del modelo. Pero esta decisión dependerá del estado del terreno y del costo de la operación de control terrestre. La determinación de los puntos de control es bastante costosa, pues se siguen métodos de precisión tanto de Topografía como de Geodesia, como son: triangulaciones, determinación de posiciones geográficas, etc.

Generalmente los puntos de control se escogen sobre las fotografías, de manera que éstos sean los me -
 jor definidos en ellas. Por medio del control ho-
 rizontal se efectúa la orientación del modelo y el
 ajuste de escala.

Los puntos elegidos para el control vertical, de -
 ben estar lo más cerca posible de las esquinas, y
 los de control horizontal, lo más alejados posi-
 ble; de manera que se asegure la mayor eficacia de
 ellos.

A medida que el modelo por procesar es más grande,
 se puede utilizar el método de "puentear" el con-
 trol cada 4 ó 5 modelos, para hacer más económica
 la operación.

4.5.2 Marcas artificiales

Estas marcas sobre el terreno, generalmente son
 de forma circular o rectangular, fabricadas de -
 cartón, papel, etc., de colores que contrasten y se
 identifiquen fácilmente; el tamaño de éstas depen-
 derá de la escala de las fotografías en las que de
 ben aparecer de al menos 0.5 mm.

Ejemplo. Se requiere que aparezca en la fotogra-
 fía una señal de 0.5 mm. durante la toma
 de fotografías de escala 1:10000.

$$\frac{\text{mm } 0.5}{X} = \frac{1}{10000} \quad \therefore X = 5000 \text{ mm. (ancho en el terreno)}$$

4.6 Rectificación y restitución

Una fotografía puede ajustarse por medios opticomecánicos, hasta adquirir las características de una que sea estrictamente vertical, mediante un proceso de rectificación.

4.6.1 Rectificación

El instrumento rectificador, consiste de un amplificador provisto de dispositivos de ajuste para cambiar la forma y la escala de la imagen.

Las fotografías rectificadas, pueden usarse en la elaboración de mosaicos controlados, para producir mapas.

4.6.2 Restitución

La restitución es el procedimiento, mediante el cual se pasa de la proyección cónica de la fotografía a la proyección ortogonal.

Este procedimiento se realiza también con la utilización de aparatos opticomecánicos, de los cuales existe una gran variedad. Estos se clasifican según sus alcances, limitaciones y las técnicas según las cuales pueden formar el estereomodelo. Las técnicas van desde las más elementales, hasta las más elaboradas.

4.6.3 Clasificaciones de los instrumentos.

A.- Se clasifican primeramente, según el número de oculares:

a) Monoculares. Tales como la Lupa, Sketchamaster, Aerolux.

b) Binoculares. Tales como el Estereoscopio, Ortoestereómetro, etc.

B.- Se clasifican según el tipo de solución de que se valgan para procesar las fotografías.

a) Instrumentos de solución óptica. Son aquellos en los cuales, las imágenes parciales de un estereopar son proyectadas ópticamente en el plato de una mesilla trazadora, (Múltiplex, Balplex).

b) Instrumentos de solución mecánica. En estos sistemas de proyección sólo se utilizan dispositivos mecánicos, (reglillas metálicas).

c) Instrumentos de solución parte óptica parte mecánica. Estos instrumentos utilizan varillas especiales o reglillas de lados rectos y rayos ópticos dentro de los proyectores, (Fotoestereógrafo).

C.- Las máquinas fotogramétricas se dividen según su precisión en:

a) Máquinas de 1er. orden. Son aquellas que tienen dispositivos para medir hasta el centímetro, (Estereoplanígrafos, Autógrafos A-7, A-10).

b) Máquinas de 2o. orden. Tienen dispositivos para medir hasta el decímetro. (Autógrafo A-8, A-9, Múltiplex, Balplex).

c) Máquinas de 3er. orden. Solamente pueden medir hasta el metro con precisión y sólo dan soluciones aproximadas, (Estereografómetro, Estereotopo).

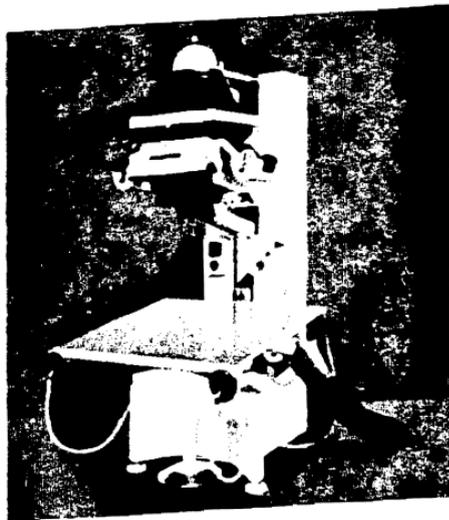
D.- Las máquinas fotogramétricas, también se pueden dividir según el número de modelos que puedan restituir:

a) Instrumentos no universales. Resuelven un solo modelo estereoscópico cada vez y generalmente ocupan fotografías de eje vertical.

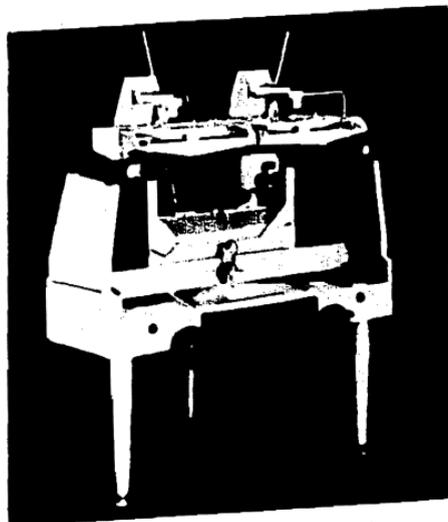
b) Instrumentos universales. Son de mayor exactitud, capaces de dar relaciones de amplificación mayores entre la fotografía y el plano. Elaboran planos configurados al detalle con amplificaciones de hasta de más de 7 veces la escala de la foto. Estos instrumentos pueden emplearse para la medición numérica de coordenadas, proporcionan perfiles longitudinales, secciones transversales, modelo digital del terreno, etc. Los datos se obtienen en forma de coordenadas tridimensionales (X' Y' Z') a la escala y en el sistema instrumental del modelo, los que puede registrar automáticamente en cinta o tarjetas perforadas que alimenten un procesador electrónico.

Para obtener resultados aceptables, es necesario controlar las propiedades geométricas del instrumento. Cada instrumento re -

siste un riguroso control de calidad, antes y después de la instalación para el usuario. La verificación es de acuerdo a las especificaciones de construcción. Generalmente, esta comprobación, consiste en el método de la cuadrícula y se emplea periódicamente para revisar los instrumentos en producción. El resultado permite conocer el error estándar de peso unitario presente en la medición de las coordenadas, para así determinar desajustes significativos.



RECTIFICADOR



RESTITUIDOR

4.7 Resumen

En esta sección, trataremos de resumir en unos cuantos -- puntos, los pasos que se tendrán que dar a fin de satisfacer la completa realización de un levantamiento fotogramétrico.

Este resumen es sólo un intento de sintetizar algunas de las explicaciones dadas en los cursos de Fotogrametría de nuestra Facultad.

- A. Se efectúa primero una inspección de reconocimiento de el terreno que se va a configurar, para realizar - un croquis que represente el área en estudio, con sus contornos y dimensiones aproximados, para tener una primera idea de sus necesidades, previendo los medios que satisfagan la ejecución del proyecto.
- B. Se establecen las necesidades y características que deben cubrir los resultados finales, para planear así, la toma de fotografías, su escala, el tipo idóneo de material fotográfico y la calidad resolutive y métrica de los resultados finales.
- C. Conviene aquí, efectuar una visita de investigación a los archivos fotogramétricos, para la búsqueda de - materiales e informaciones almacenados que satisfagan al menos parcialmente las especificaciones requeridas en el proyecto, en lo referente a edad, escala e imagen.
- D. Habiendo investigado lo anterior, se procede a evaluar -- las eventualidades del proyecto, encaminadas a la actualización o ejecución de los planos fotogramétricos.

tricos. Esta evaluación culmina con la redacción de un presupuesto global para decidir si el proyecto es económicamente realizable.

- E. Se procede a elaborar el Plan de Vuelo, que actualice o cubra las necesidades informativas.
- F. Se efectúa el vuelo fotogramétrico, cubriendo las características necesarias, teniendo en cuenta los cuidados para una operación tan delicada.
- G. Se procesa el material fotográfico en el laboratorio para revelarlo, fijar tonos, colores, etc.
- H. Se rectifican los negativos por procedimientos optico mecánicos hasta simular las condiciones de toma corres pondientes a las de una fotografía de eje vertical, efectuando a la vez la corrección de escala.
- I. Se confecciona el mosaico ompleto con las aerofotogra fias a fin de seleccionar los puntos del terreno en los que se establece el Control Terrestre. A partir de éste se distribuirán las coordenadas X, Y, Z, a todo el modelo.
- J. Se procede a ejecutar el trabajo de campo consistente en la realización de las orientaciones necesarias, ni velaciones, trabajos geodésicos y topográficos teniendo en cuenta la comprobación de las primeras.
- K. Recopilando la información anterior, se restituyen las fotografías con la utilización de instrumentos optico mecánicos, para extraer de ellas la información para el dibujo de los planos del terreno.
- L. Toda la información se dibuja, rotula y detalla, para darle la presentación final, con lo cual se da término al trabajo fotogramétrico.

BIBLIOGRAFIA

1. - Título: TOPOGRAFIA
Autor: Ing. Miguel Montes de Oca
Editor: Representaciones y Servicios de Ingeniería
México 1970 1ª Edición
2. - Título: TOPOGRAFIA GENERAL
Autor: Ing. Saburo Higashida Miyabara
Editor: Editorial Privada
México 1970 1ª Edición
3. - Título: TOPOGRAFIA
Autor: Dr. Alvaro Torres Nieto
Editor: Norma
Cali Colombia 1968 1ª Edición
4. - Título: TOPOGRAFIA PARA INGENIEROS
Autor: Ing. Philip Kissam C. E.
Editor: Mc. Graw Hill
E.U.A. 1976 1ª Edición
5. - Título: METODOS TOPOGRAFICOS
Autor: Ing. Ricardo Toscano
Editor: La Patria
México 1960 3ª Edición
6. - Título: ELEMENTOS DE ASTRONOMIA DE POSICION
Autor: Ing. Manuel Medina Peralta
Editor: Limusa W.
México 1974 1ª Edición
7. - Título: FOTOGRAMETRIA Y GEODESIA
Autor: Ing. Church Carl Frank
Editor: Limusa W.
U.S.A. 1975 2ª Edición

8. - Título: GEOLOGIA FISICA
Autor: Ansg. L. Dor Leet y S. Judson
Editor: Limusa W.
U.S.A. 1975 2ª Edición

9. - Título: ROCAS
Autor: Ing. Herbert S. Zim
Editor: Novaro
México 1970 3ª Edición

10. - Título: LEGISLACION MINERA
Editor: Porrua
México 1977 10ª Edición

11. - Título: EXPLOTACION DE CANTERAS
Autor: Ing. Fco. Zamora Montero
Editor: Tesis Profesional I.P.N.
México 1975

12. - Título: EXPLOTACION DE PIEDRA CANTERA
Autor: Ing. M. Enrique Mendez
Editor: Tesis Profesional I.P.N.
México 1977

13. - Título: LABORATORIO DE FOTOGRAMETRIA
Autor: Prof. Armida Hernández
Editor: Apuntes de clase
México 1975

14. - Título: FOTOGRAMETRIA
Autor: Ing. Gualterio Luthe
Ing. Luis Palomino R.
Ing. Raul Cejudo O.
Editor: Apuntes de clase
México 1975-76

15. - Título: ASTRONOMIA DE POSICION
Autor: Ing. Federico Alonzo Learch
Editor: Apuntes de Clase
México 1975

I N D I C E

INTRODUCCION	1
I. DEDUCCION DE LAS ECUACIONES	
a) Definición de Coordenadas Geográficas	4
b) Deducción de las Fórmulas Básicas	20
c) Deducción de las Fórmulas para el Cálculo de Latitud, Longitud y Azimut	29
II. TRABAJO DE CAMPO	
a) Descripción del Teodolito	39
b) Operaciones de Campo	46
III. ELABORACION DE LOS CALCULOS	
a) Determinación de la Latitud por el Método Dos Posiciones de Sol (Alturas absolutas) Cálculo Tradicional	53
b) Cálculo de Azimut del Sol y Angulo Horario	66
c) Cálculo de Latitud, Azimut del Sol y Angulo Horario por Computadora, Observaciones por Dos Posiciones de Sol	71
d) Cálculo de la Longitud y Azimut de la Línea	88
e) Cálculo de la Latitud por el Método Paso Meridiano	97
CONCLUSIONES	102
BIBLIOGRAFIA	106