

Manifiesto de Digitalización

La siguiente obra es consultable a texto completo; más no se pueden realizar búsquedas de texto en ésta ya que está compuesta por imágenes digitalizadas a partir del original impreso disponible en la biblioteca del área. El siguiente *manifiesto* señala los detalles más resaltantes del mencionado original que inciden en la calidad visual y estructural de este documento electrónico.

Identificación de la obra:

Título: ASPECTOS GENERALES EN LA REPRESENTACION GRAFICA DEL RELIEVE
Autor: LUDOLFO MARTINEZ MENDEZ
Cota: X
GA 102.5
M 37

Observaciones sobre el original impreso:

Particulares:

La primera página es de calidad fotocopia.

Generales:

Algunas imágenes son de baja calidad.

Fecha de digitalización: 24 de marzo de 2009



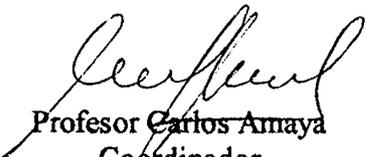
ACTA VEREDICTO

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de Facultad para conocer y evaluar el Trabajo de Ascenso a la Categoría de Profesor Asociado intitulado: "*Aspectos Generales de la Representación Gráfica del Relieve*", elaborado por el Profesor Ludolfo Martínez, en un todo de acuerdo con lo establecido en el Estatuto del Personal Docente y de Investigación de la Universidad de Los Andes, una vez leído el mismo, acordaron darle su APROBACIÓN.

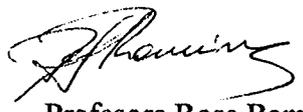
En vista del valioso aporte didáctico y metodológico del trabajo, para la enseñanza en el área de Cartografía, se acuerda otorgarle MENCIÓN PUBLICACIÓN.

En Mérida a los diez días del mes de diciembre del año dos mil cuatro.

EL JURADO


Profesor Carlos Amaya
Coordinador


Profesor Carlos Ferrer


Profesora Rosa Ramirez

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA DE GEOGRAFIA



ASPECTOS GENERALES EN LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL RELIEVE



13 ENE 2005

NOIYNOD

LUDOLFO MARTÍNEZ MÉNDEZ

Mérida, Venezuela, 2004

X
GA102.5
102

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA DE GEOGRAFIA

ASPECTOS GENERALES EN LA
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL RELIEVE

Prof. LUDOLFO MARTÍNEZ MÉNDEZ

**Trabajo especial presentado como uno de los requisitos para ascender
a la categoría de Profesor Asociado.**

Mérida, Venezuela, 2004

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Introducción	01
Capítulo I	03
Planteamiento del Problema	03
Justificación	07
Objetivos	08
Capítulo II	10
Evolución de los Métodos de Representación del Relieve	10
Métodos de Representación del Relieve	10
1. Método pictórico	11
2. Método del sombreado con trazos o sombreado por normales.	14
3. Método de los puntos acotados.	16
4. Método de las curvas de nivel para la representación del relieve.	18
Capítulo III	19
La Representación Del Relieve En Los Mapas A Través Del Método De Las Curvas De Nivel	19
1. El trazado de las curvas de nivel.	22
2. Interpolación lineal de valores.	28
2.1. Método lógico.	29

2.2. Método gráfico.	35
2.3. Método mixto o combinado	36
3. Modelos Digitales del Terreno	38
3.1. Modelos Analógicos y Modelos Digitales	37
3.2. Características que diferencian los MAT de los MDT en los aspectos prácticos del uso de la información.	39
3.3. Obtención de curvas de nivel mediante el uso de herramientas automatizadas.	40
4. Aspectos técnicos a considerar en la elaboración de un mapa topográfico.	46
5. Tipos de curvas de nivel.	48
5.1. Curvas Índices.	48
5.2. Curvas Intermedias.	50
5.3. Curvas Interpoladas.	51
5.4. Curvas Dudosas.	52
5.5. Curvas de Depresión	53
5.6. Curvas Batimétricas.	53
 Capítulo IV	 55
Interpretación o Lectura De Los Mapas De Curvas De Nivel	55
1. Las formas del terreno y su representación mediante curvas de nivel.	55
1.1. Valle.	56
1.2. Montañas.	56
1.3. Mesetas.	57
1.4. Colinas.	58
1.5. Llanuras.	59
2. Los elementos del terreno y su representación mediante curvas de nivel.	59
2.1. Las líneas de cresta.	59

2.2. Líneas de Talweg.	60
2.3. Interfluvio.	60
2.4. Vertiente	60
2.5. Cambio de pendiente.	60
3. Realización de Cálculos en los mapas de curvas de nivel.	61
3.1. Cálculo de la altitud de un punto.	62
3.2. Cálculos de Pendiente.	65
3.2.1, Pendiente porcentual.	66
3.2.2. Pendiente Angular.	69
3.3. Cortes y Perfiles Topográficos.	74
3.3.1. Pasos a seguir en la elaboración de un perfil topográfico	75
Bibliografía	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. En este antiguo mapa de Venezuela puede observarse la representación de las áreas montañosas a través de símbolos pictóricos.	12
Figura 2. Mapa antiguo con representación pictórica de las características de un relieve montañoso.	12
Figura 3. En el gráfico se muestra las dos perspectivas o puntos de vista de un mapa que representa el relieve a través del método pictórico.	13
Figura 4. Método del sombreado con trazos o sombreado por normales estableciendo el grosor del trazo por el método de Lehmann.	15
Figura 5. Representación del relieve a través del método de los puntos acotados. Su lectura es muy difícil a pesar de presentar valores reales, lo que significa que posee importantes características geométricas al señalar valores de altitud, pero muy pocas características plásticas.	17
Figura 6. Mapa batimétrico	18
Figura 7. Ejemplo de una montaña vista esquemáticamente y en forma horizontal, a la que se le han trazado las líneas de altitud cada 10 metros que aparecen como líneas horizontales paralelas.	21
Figura 8a. En este mapa se puede observar un terreno en el cual se han ubicado los valores de altitud de diferentes puntos (puntos de control), distribuidos en toda el área, obteniendo así	

un mapa de puntos acotados.	23
Figura 8b. Los puntos acotados o puntos de control se unen a través de líneas rectas formando una triangulación.	24
Figura 8c. A partir de la triangulación de la figura 9b, se interpolan los valores correspondientes a las isolíneas o curvas de nivel a ser trazadas. En este ejemplo se interpolaron valores cada 10 metros.	25
Figura 8d. Los puntos de igual valor se unen mediante líneas curvas que empalman dichos puntos. Para ello se toma en cuenta el conocimiento que se tenga del terreno y la red de drenaje existente	26
Figura 8e. Una vez que hayan sido trazadas las curvas de nivel, se puede hacer abstracción de los puntos acotados y de la triangulación para darle mayor claridad al mapa.	26
Figura 9a. Acá se muestra otro ejemplo de construcción de un mapa de relieve con el método de las curvas de nivel, sin tomar en cuenta el drenaje para el trazado de las curvas.	27
Figura 9b. El mismo ejemplo de la figura 9a, donde las curvas se han adaptado a la red de drenaje.	28
Figura 10. Explicación del proceso de interpolación de los puntos por donde pasan las isolíneas cada 40 metros entre los puntos A y B del gráfico con valores de altitud de 324 y 532 m. respectivamente.	31
Figura 11. Perfiles topográficos (idealizado y real), mostrando la diferente localización de iguales puntos de altura.	34
Figura 12. Interpolación por el método gráfico.	36
Figura 13. Interpolación por el método mixto o combinado.	37
Figura 14. Pantalla principal en el módulo EZYSurf.	40
Figura 15. Caja de dialogo "cargar datos como puntos".	41
Figura 16. Nube de puntos ingresados al programa.	43

Figura 17. Generación de triángulos TIN en forma automática.	44
Figura 18. Dibujo de Curvas en forma automática.	45
Figura 19. Plano completo con cuadrículas Norte y Este.	45
Figura 20a- Llanura Aluvial. Indicando la separación de las curvas de nivel.	47
Figura 20b.- Piedemonte mostrando una diferencia entre las curvas de nivel. En este caso se permite debido a la existencia de dos tipos de relieve.	48
Figura 21. En este sector del mapa de Venezuela a escala 1:100.000 producido por Cartografía Nacional, se pueden observar las curvas índices acotadas y las curvas intermedias de trazo mas fino y sin acotar.	49
Figura 22. Parte del mapa a escala 1:100.000 de Venezuela en el piedemonte andino donde se muestran curvas intermedias acotadas debido a su gran separación por representar un relieve muy plano. Asimismo se muestra un relieve irregular donde las curvas índices no están acotadas.	50
Figura 23. En el mapa se muestra un sector donde se presentan curvas interpoladas con un trazo segmentado lo que significa que no representan fielmente el relieve ya que son el resultado de interpolar curvas.	51
Figura 24. Ejemplo de curvas dudosas cuyo trazo se realiza con líneas punteadas.	52
Figura 25. Curvas de depresión.	53
Figura 26. Muestra de un mapa batimétrico.	54
Figura 27a. Representación de algunas formas del terreno mediante curvas de nivel.	57
Figura 27b. Representación de formas y elementos del terreno mediante curvas de nivel.	58

Figura 28. Representación de los elementos del terreno mediante curvas de nivel.	61
Figura 29. Cálculo de la altitud de un punto del terreno a partir de su representación en un mapa topográfico, ubicado entre las curvas de nivel 1400 y 1500 m.s.n.m.	63
Figura 30. Cálculo de la pendiente en medidas angulares.	66
Figura 31. Cálculo de la pendiente en valores porcentuales.	66
Figura 32. Esquema que muestra como se calcula la pendiente porcentual.	67
Figura 33. Ejemplo que ilustra el cálculo de la pendiente a partir de un mapa topográfico a escala 1:25:000, tomando en cuenta el desnivel (distancia vertical) y la separación entre dichos puntos (distancia horizontal).	68
Figura 34. Esquema que muestra las altitudes y distancias de los puntos A y B, entre los cuales se va a calcular la pendiente angular.	70
Figura 35. Mapa topográfico a escala 1:25.000, donde se va a calcular la pendiente en porcentaje, entre los puntos X e Y.	72
Figura 36. En el esquema puede observarse el problema planteado: Se quiere calcular la pendiente angular entre los puntos X e Y.	73
Figura 37. Aquí vemos un esquema de un corte topográfico realizado en base al método de curvas de nivel	77
Figura 38. Representación de las formas y elementos del terreno mediante curvas de nivel	78

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parte del archivo de datos de puntos X, Y, Z procesado en EXCEL	42

INTRODUCCIÓN

A través de la historia, el hombre ha mostrado su interés de representar gráficamente el espacio geográfico que le rodea, y uno de los aspectos importantes a expresar ha sido la conformación del terreno de los lugares donde se desenvuelve, con la necesidad de comunicarse, esto ha conllevado a la creación y desarrollo de la cartografía y por ende de su principal propósito manifestado en la elaboración de los mapas. Sin embargo, el hecho de representar en una superficie plana la realidad del modelado del terreno, es un tema que presenta grandes dificultades, entre las que se puede destacar el hecho de que el ser humano está acostumbrado a ver desde abajo los relieves de la tierra y no es fácil entender la misma vista desde arriba.

Para cubrir este tipo de problemas, se han realizado investigaciones dirigidas al perfeccionamiento de la representación del relieve de la superficie terrestre, a partir de las cuales se han creado varios métodos y modelos que permiten caracterizarla planialtimétricamente de manera eficaz.

En base a las consideraciones expuestas, este trabajo, tiene el propósito de presentar en forma general una recopilación y explicación de los principales métodos a considerar para el desarrollo de la representación del relieve, y ofrecer a los estudiantes de Geografía, especialmente del área de cartografía, las herramientas básicas necesarias para cubrir este tema.

Igualmente este trabajo se presenta como el cuarto texto de estudio realizado por el autor, formando parte de la serie de trabajos programados para esta área como política de investigación del Departamento de

Cartografía de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes.

El presente texto está estructurado de la siguiente manera: En el Capítulo I se hace referencia al planteamiento del problema, orientado hacia las dificultades básicas de la cartografía, referidas específicamente a la representación de la superficie terrestre y sus posibles soluciones; y la justificación y los objetivos del trabajo que están basados especialmente en la experiencia compartida por el autor y sus estudiantes a través de su trayectoria docente en el área de la expresión gráfica y cartográfica.

En el Capítulo II se describe la evolución de los métodos de representación del relieve y se presentan algunos de ellos, tales como: método pictórico, del sombreado, de puntos acotados y de las curvas de nivel.

En el Capítulo III, se hace énfasis en el método de representación del relieve a través de las curvas de nivel, de los modelos digitales de representación del terreno y de los aspectos técnicos a considerar para la elaboración de un mapa topográfico utilizando los diversos tipos de curvas de nivel.

En el IV y último Capítulo, se presentan algunas nociones muy generales para interpretar o leer la información que ofrecen los mapas de curvas de nivel, partiendo de la realización de algunos cálculos, como altitud y pendiente y la elaboración de algunos diagramas como los perfiles topográficos de acuerdo a las formas y elementos del terreno.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como es lógico, la representación de la superficie terrestre, labor que tiene a su cargo la Cartografía, conjuntamente con la Geodesia, la Topografía y la Semiología Gráfica, enfrenta varios problemas que deben ser resueltos para lograr ese objetivo con la mayor fidelidad y eficacia, entendida esta última como la facilidad de transmitir una información al lector. Entre esos problemas destacan algunos que podríamos denominar *los problemas básicos de la cartografía*, los cuales se resumen a continuación, señalando conjuntamente y en forma muy general, las soluciones propuestas a esos problemas.

- ***Las grandes dimensiones de la superficie terrestre*** constituye un problema muy especial ya que se deben realizar representaciones en formatos manejables de esas extensiones, bien sea de la totalidad de la superficie terrestre o de cualquier sector de ella. La forma de solucionar ese problema ha sido a través del uso de la *escala cartográfica*, mediante la cual es posible reducir las dimensiones reales del planeta en todas las direcciones y en una proporción fija, a fin de obtener representaciones que permitan realizar mediciones lineales y de superficie, análogas a las medidas reales y viceversa; lógicamente tomando en cuenta la escala cartográfica utilizada en la representación. Sin embargo, el uso de la escala cartográfica no soluciona completamente el problema de representar gráficamente las extensas

superficies del globo terrestre, ya que surgen otros problemas como el causado por la *generalización cartográfica*, que se presenta debido a la imposibilidad de dibujar los detalles de las formas reales de la superficie terrestre y de los objetos y elementos que en ella se presentan, los cuales desaparecen al reducir sus dimensiones a escalas muy pequeñas.

Asimismo, es necesario aclarar que cuando se hacen representaciones cartográficas de áreas muy extensas (mapa-mundi o mapas continentales), dependiendo del tipo de proyección utilizada, se pierde la condición de que la escala se cumpla en todas las direcciones, por lo que existen mapas, como el resultante de la Proyección Básica de Mercator, donde pueden observarse alteraciones muy marcadas de las áreas, mas alejadas de la zona ecuatorial como consecuencia de no cumplirse la condición expresada anteriormente.

- La necesidad de establecer un ***sistema de líneas de referencia*** que permita realizar los cálculos para la reducción de las grandes dimensiones y, sobre todo, para establecer referencias de posición respecto a direcciones, distancias angulares y lineales, así como correspondencia entre las áreas representadas y su representación. Para resolver este problema han sido creados varios sistemas de líneas de referencia, comúnmente denominados *sistemas de coordenadas cartográficas*, entre los cuales destacan el *Sistema de Coordenadas Geográficas*, basado en una red de líneas imaginarias que cubren la esfera terrestre y que, según su dirección, reciben la denominación de paralelos y meridianos, representando valores angulares; asimismo destaca el *Sistema de Coordenadas U.T.M.* (siglas provenientes de la Proyección Universal Transversal de Mercator), basado en líneas de referencia que representan valores de distancias También se han utilizado otros sistemas de referencia, (Ver trabajo: “*La transformación del espacio geográfico en mapas*” del mismo autor), mediante el cual se ha resuelto el

problema señalado al principio del párrafo, permitiendo seleccionar entre los diferentes sistemas, aquel que se adapte al propósito del mapa a ser producido.

- Otro problema básico que enfrenta la cartografía es el que se refiere al hecho de **representar una superficie esférica**, como es la superficie terrestre, sobre **una superficie plana constituida por el mapa**, lo que trae como consecuencia una desfiguración o alteración de las formas, superficies y direcciones, técnicamente llamadas *anamorfismos*. Para lograr esa “transformación” de una superficie esférica a una superficie plana, la cartografía hace uso de las denominadas *proyecciones cartográficas*, mediante las cuales se trata de hacer representaciones donde se reduzcan los errores de distancias, direcciones y formas, según convenga para el propósito del mapa; aún cuando en representaciones de superficies muy extensas es imposible eliminar errores en esos tres aspectos en forma conjunta ya que siempre alguno de los tres presentará alteraciones.

- El último de los problemas básicos al que haremos referencia en esta síntesis, y que debe ser resuelto por la cartografía en su objetivo de representar lo mas fielmente posible la superficie terrestre, es la **representación del relieve de esa superficie**, caracterizada por presentar irregularidades tales como colinas, valles, montañas, altiplanos, llanuras, picos, etcétera; todo ello debe representarse en una superficie plana y homogénea constituida por el plano, considerado este como la superficie homogénea sobre la cual se implantarán los signos que representarán tanto la superficie terrestre como los diferentes elementos que se encuentran sobre ella.

Este último problema básico de la cartografía, que consiste en la representación gráfica del relieve, es el que trataremos de analizar en este trabajo, con la esperanza de contribuir con los estudiantes que se inician en

los conocimientos cartográficos y geográficos, a conocer los diferentes métodos y técnicas utilizadas para lograr esa representación del relieve en mapas y gráficos y, a la vez, sacar provecho de esas representaciones en el sentido de extraer de ellas información subyacente en los diferentes métodos.

Sabemos que los mapas pueden clasificarse según representen o no las irregularidades del terreno, en mapas topográficos y mapas planimétricos, respectivamente. Los mapas planimétricos presentan solo la superficie plana del terreno y la distribución espacial de los elementos que en él se encuentran, sin tomar en cuenta el relieve, por lo que en este tipo de mapas solo pueden realizarse medidas horizontales y direccionales. En los mapas topográficos, además de la representación horizontal, también se presentan las irregularidades o el relieve del terreno por lo que, adicionalmente, es posible efectuar medidas angulares verticales, es decir, diferencias de altitud, pendientes, etcétera.

El relieve, definido como “el conjunto de formas complejas que accidentan la superficie del globo terrestre” (Real Academia Española, 2001), podría entenderse como la expresión superficial de la tierra, representado por las diferentes formas e irregularidades que en ella se suceden; ello incluye tanto las áreas planas y semiplanas de bajo y alto nivel, como aquellas otras caracterizadas por una topografía quebrada y accidentada.

Como es de suponer, la forma real de la superficie terrestre significa la existencia de tres dimensiones que deberían ser representadas desde el punto de vista cartográfico, en un mapa cuya base está constituida por un plano que presenta solo dos dimensiones. Esto, por sí solo, demuestra la dificultad que implica poder hacer una representación fiel del relieve que, además, deba responder a necesidades o requerimientos cartográficos tales como las características plásticas, relacionadas con la facilidad de lectura de la información, y las características geométricas, que permiten la realización

de mediciones y cálculos geométricos en el mapa, equivalentes a las medidas reales.

En términos geométricos, el problema consiste en que, además de representar las variables “x” e “y” que corresponden a las dos dimensiones del plano, también se debe representar la variable “z”, que se refiere a la tercera dimensión expresada en la superficie terrestre por la altitud de los diferentes puntos que conforman esa superficie.

JUSTIFICACIÓN

Este trabajo constituye una investigación de carácter bibliográfico que busca ampliar y mejorar la poca bibliografía existente en nuestro idioma sobre temas similares al tema central del trabajo. Se pretende facilitar la comprensión de los temas cartográficos a los alumnos que se inician en los estudios geográficos pues se considera la Cartografía como una herramienta básica en dichos estudios. La realización de este trabajo se justifica por varias razones:

- Responde a una política adoptada por el Departamento de Cartografía, Métodos y Técnicas de Investigación Geográfica, Escuela e Instituto de Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de los Andes, en el sentido de que sus miembros realicen investigaciones bibliográficas que se traduzcan en textos de estudio para enriquecer la poca variedad de trabajos de consulta que existen en nuestro idioma, de manera que cumplan con los requisitos de enfocar nuestras áreas temáticas, adaptados a nuestra realidad socio-educacional, en idioma español y que estén al

alcance de nuestros estudiantes. Como resultado de esta política, ya se han publicado algunos trabajos y otros están por publicarse.

- Otra razón que justifica este trabajo, lo constituye la experiencia de mas de veinticinco años de docencia en el área de Cartografía, lo que da los conocimientos suficientes para comprender una forma clara, sencilla y práctica de transmitir una información de manera que pueda ser captada por los estudiantes.

- Por último, se justifica la realización de este trabajo, debido a que el mismo, como tercer trabajo de investigación, bajo mi responsabilidad, complementa una serie de textos que abarcan los contenidos del programa de la asignatura Dibujo Cartográfico, la cual imparto, formando parte del currículo de la Escuela de Geografía.

OBJETIVOS

La lectura de los puntos anteriores permite tener una idea del objetivo general que se persigue con la realización de este trabajo, el cual no es otro que poner al alcance de los estudiantes que se inician en los conocimientos cartográficos, las herramientas necesarias para interpretar y explotar la información derivada de los mapas que presenten el relieve o mapas topográficos.

Asimismo, se pueden enumerar otros objetivos específicos que deben cumplirse para alcanzar el objetivo principal ya señalado; ellos son:

- Analizar los diferentes métodos de representación del relieve en los mapas, haciendo énfasis en el método de las curvas de nivel.

- Exponer las normas y procedimientos necesarios para la producción de mapas de relieve con curvas de nivel.
- Confeccionar gráficos y mapas derivados, relacionados con el relieve, a partir de los mapas topográficos.
- Explicar los pasos necesarios para extraer información de carácter geométrico de los mapas topográficos.

CAPITULO II

EVOLUCION DE LOS METODOS DE REPRESENTACION DEL RELIEVE

La representación en los mapas del relieve o de las irregularidades de la superficie terrestre, constituye uno de los problemas básicos a ser resueltos por la Cartografía en su objetivo de representar fielmente tanto la superficie de nuestro planeta como de cualquier cuerpo celeste. La **solución** a este problema se complica primero, porque el plano que le sirve de base al mapa presenta solo dos dimensiones y segundo, por la imposibilidad de utilizar la perspectiva lateral u oblicua ya que, como veremos mas adelante, deforma el mapa en el sentido de que este se considera como una vista vertical del terreno.

Por las consideraciones anteriores, durante el desarrollo de la cartografía se han propuesto diferentes **métodos** para representar el relieve. Estos métodos de representación del relieve serán analizados a continuación.

Métodos de representación del relieve. La solución al problema que implica la representación de una tercera dimensión en un plano con solo dos dimensiones, se ha tratado de resolver a través de varios métodos que han evolucionado en el tiempo, y cuyo uso depende tanto de los objetivos que busca el autor con la elaboración del mapa, como de los recursos disponibles para elaborarlo, pero que son el resultado de la evolución de la cartografía y de la tecnología.

A continuación haremos un resumen de los principales métodos existentes para representar el relieve en los mapas, así como otros procesos gráficos de representar ese relieve, que aunque no son para incluir en los mapas, permiten visualizar las formas del terreno que son esenciales en cualquier análisis de carácter espacial. Es necesario aclarar que no siempre el orden de presentación de los diferentes métodos, será de tipo cronológico, ya que en algunas ocasiones ellos han coincidido temporalmente. Asimismo, queremos dejar constancia de que no se persigue realizar un análisis exhaustivo de todos los métodos que se han utilizado para representar el relieve, sino que se analizan solo aquellos que se consideran importantes para cumplir el objetivo general del trabajo.

1. Método Pictórico. Un primer método de representación del relieve, se basa en la señalización de las áreas montañosas más importantes, para lo cual se utiliza una forma pictórica consistente en el dibujo de montañas vistas en perspectiva oblicua u horizontal, tal como se observa en las figuras 1 y 2, por lo que el resultado presenta grandes características plásticas; entendidas estas características como la facilidad para que el usuario capte rápidamente la información al relacionar el símbolo utilizado con el fenómeno o aspecto que se desea representar. En este método, cuando el lector ve las montañas dibujadas en el mapa, asocia la figura con la existencia de una zona montañosa en el área cubierta por ella. A este respecto, E. Raisz (1953,125) señala que *“hasta mediados del Siglo XVIII se figuraban las cordilleras dibujando una serie de montañas como en un cuadro”*. Esa forma de representación del relieve presenta problemas que han hecho que actualmente su uso se limite a mapas de información general, que también utilizan otros símbolos pictóricos para cumplir sus objetivos, tales como algunos mapas turísticos generales y de carácter escolar.

A pesar de las buenas características plásticas de este método de representación del relieve, el mismo presenta los siguientes problemas:

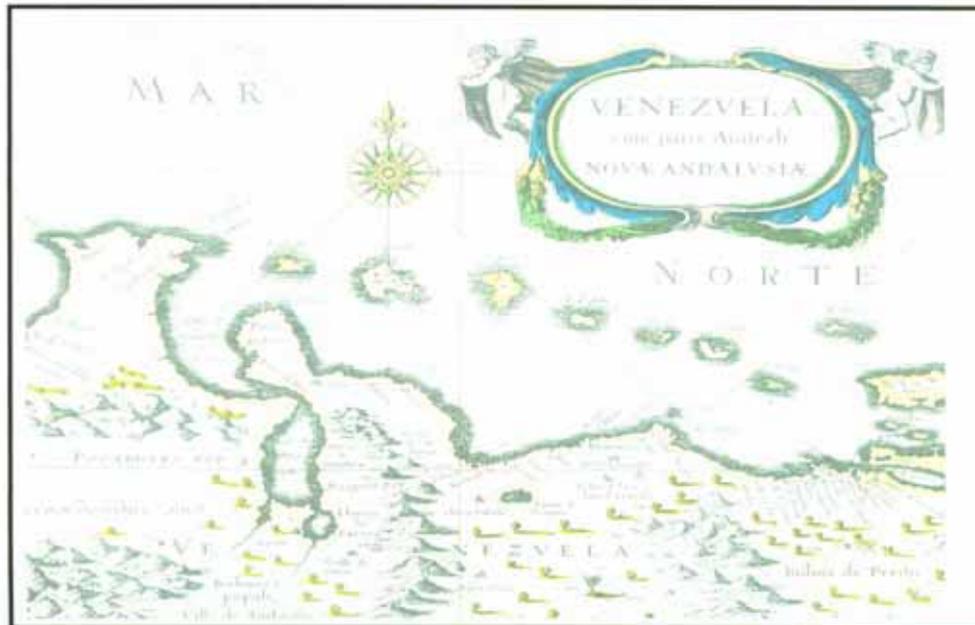


Figura 1. En este antiguo mapa de Venezuela puede observarse la representación de las áreas montañosas a través de símbolos pictóricos. (Fuente: Atlas de Venezuela, 1979, p. 3)

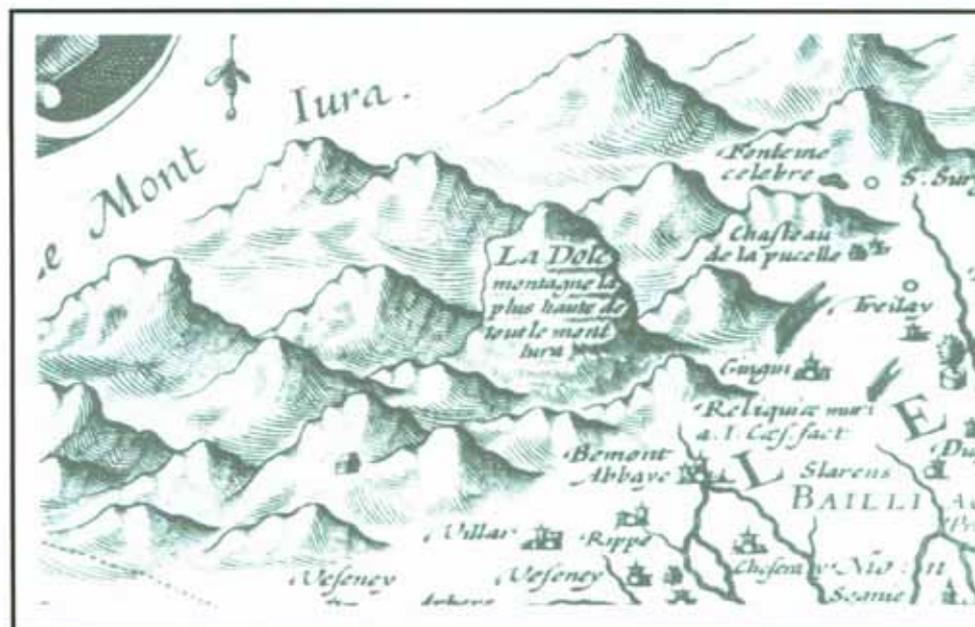


Figura 2. Mapa antiguo con representación pictórica de las características de un relieve montañoso. (Fuente: Lodovisi, y Torresani, 1996, p. 144)

- El dibujo de una zona montañosa no permite representar otros elementos importantes existentes en el terreno, tales como vías, centros poblados, corrientes de agua, poblados, lagunas, etcétera; por cuanto las figuras de la montaña ocupan el espacio donde se encuentran los elementos enunciados.

- No permite la representación de las características geométricas del terreno o la posibilidad de captar valores relativos a la altitud, pendiente, formas, etcétera, además de que impide ubicar valles vertientes y divisorias de aguas, que son esenciales para el análisis del terreno.

- Siendo el mapa una representación vertical del terreno, el dibujo de la montaña se realiza desde una perspectiva oblicua u horizontal de la misma, cambiando la perspectiva del mapa o, lo que es lo mismo, establece en un mismo plano dos puntos de vista o perspectivas: una horizontal de las montañas, y otra vertical del resto del mapa, tal como se muestra en la figura 3.



Figura 3. En el gráfico se muestra las dos perspectivas o puntos de vista de un mapa que representa el relieve a través del método pictórico. (Fuente: Lodovisi, y Torresani, 1996, p. 144)

2. Método del sombreado con trazos o sombreado por normales.

Otro método utilizado para la representación del relieve, es el conocido como método del sombreado con trazos o sombreado por normales, que consiste en dibujar las montañas con segmentos de líneas cortas que se repiten y siguen la dirección de la pendiente, lográndose una visión de las montañas en perspectiva vertical. (Véase figura 4). Este método ha tenido muchas variantes, entre las cuales destaca la propuesta por el Comandante Lehman que consiste en expresar la pendiente general del terreno en base a la separación de los segmentos de líneas que dibujan las montañas. En la figura 4, los cuatro diagramas del lado izquierdo (columna a), indican la manera como los trazos van representando la topografía del terreno:

1. El relieve está delimitado por líneas de contorno y muestra la orientación de la pendiente con puntas de flecha.
2. Se ilustra el arreglo de los trazos representando el relieve del diagrama previo.
3. Muestra los trazos cuyo grosor se relaciona con el valor del ángulo de la pendiente.
4. El sombreado de los trazos se logra asumiendo una luz proveniente del noroeste.

En el bloque b de la columna del lado derecho de la misma figura 4, se observa los trazos bajo el sistema de Lehmann en el cual el ancho de la línea se corresponde al valor del ángulo de la pendiente para dos diferentes números de líneas por centímetro de longitud: (lado izquierdo 20 trazos por centímetro; lado derecho 40 trazos por centímetro). Horizontalmente se observa diferentes grosores que indican: 1. pendiente de 30° ; 2. pendiente de 20° ; 3. pendiente de 10° ; y 4. pendiente de 5° .

Por último en el bloque c de la columna derecha, se observa un ejemplo acabado de la representación del relieve por el método de Lehmann en el sombreado por normales con diferentes orientaciones de la luz.

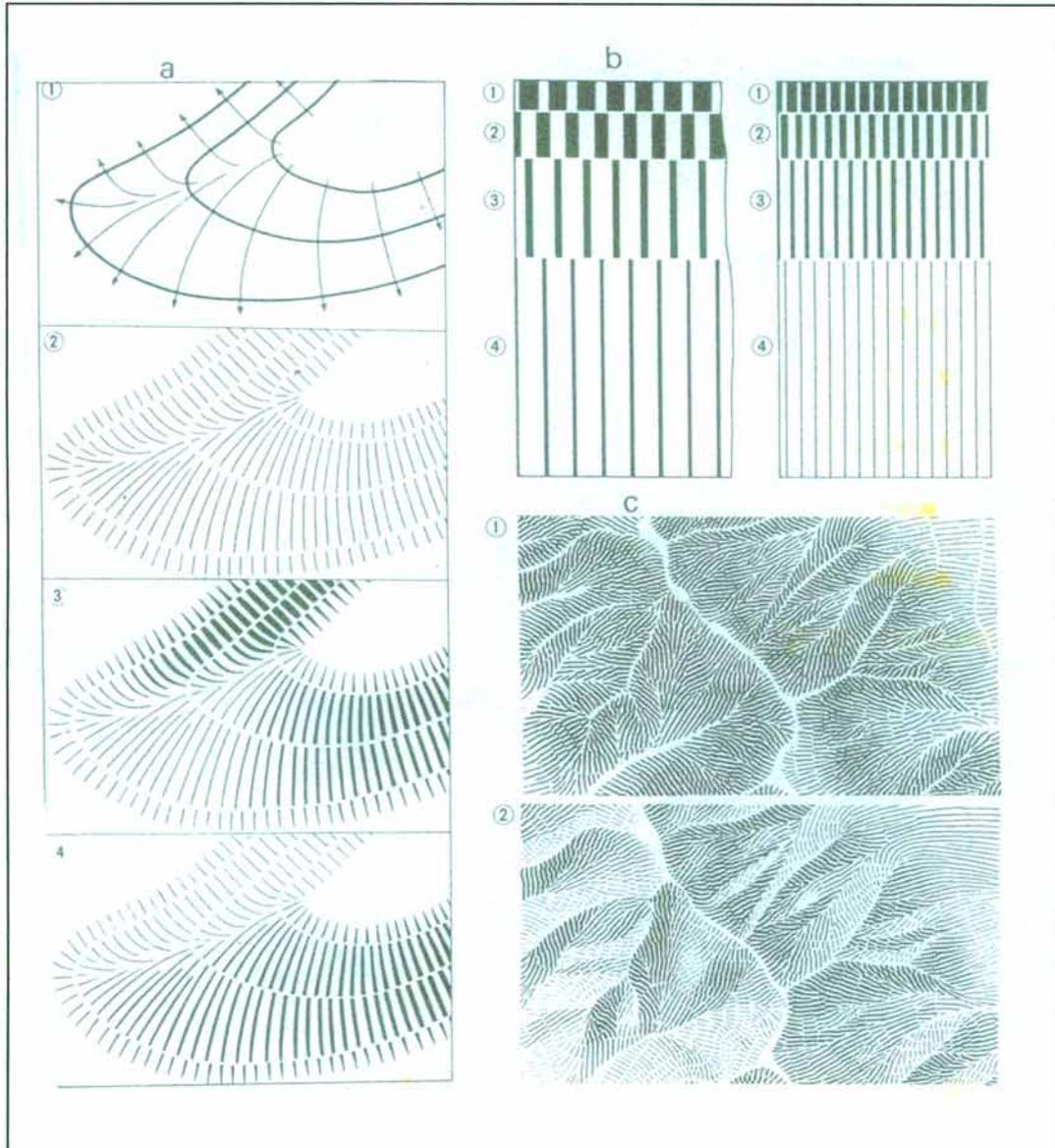


Figura 4. Método del sombreado con trazos o sombreado por normales estableciendo el grosor del trazo por el método de Lehmann. (Fuente: Butler, M., LeBlanc, C., Beldin, J., y MacNeill, J., 1990. P.40).

Este método de sombreado con trazos o sombreado por normales, posee ciertas características plásticas, ya que el resultado de la aplicación del mismo se asemeja a la de una zona montañosa vista en forma vertical, por lo que mantiene la perspectiva vertical del resto del mapa; por otra parte, también presenta algunas características geométricas al indicar el promedio del valor de las pendientes del área representada; y, además, permite la representación de algunos de los elementos existentes en el terreno, tales como centros poblados, ríos, vías y otros, lo cual mejora notablemente el método pictórico analizado anteriormente.

3. Método de los puntos acotados. La dificultad mayor para el desarrollo de métodos mas exactos y con mayores características geométricas, era el desconocimiento hasta fines del Siglo XVIII, de las alturas reales de los diferentes puntos de la superficie; y no fue hasta después de la invención del Barómetro y el perfeccionamiento del Teodolito, aparatos utilizados para medir la presión atmosférica el primero y para medir ángulos horizontales y verticales con precisión, el segundo, con los cuales se pudo calcular en forma mas precisa la altitud de los diferentes puntos del terreno, además de establecer medidas angulares, tanto horizontales como verticales, que permitieran ubicar puntos mediante este tipo de referencias angulares, que los cartógrafos se vieron motivados para establecer nuevos y mas precisos métodos de representación del relieve, surgiendo así el *método de los puntos acotados* el cual consiste en ubicar puntos en el mapa cuyos valores de altitud son conocidos e indicar esos valores a través de cotas dando origen a los mapas de puntos acotados. Los resultados alcanzados con la utilización de este método son muy pobres en cuanto a características plásticas, pues resulta muy difícil tener una idea del conjunto del relieve, basándose en una cantidad de cifras distribuidas en el área, que aún cuando indican valores reales, lo cual aumenta las características geométricas de la

representación, presenta la dificultad de no permitir claridad para el lector por el número de valores a considerar, tal como se observa en la figura 5.

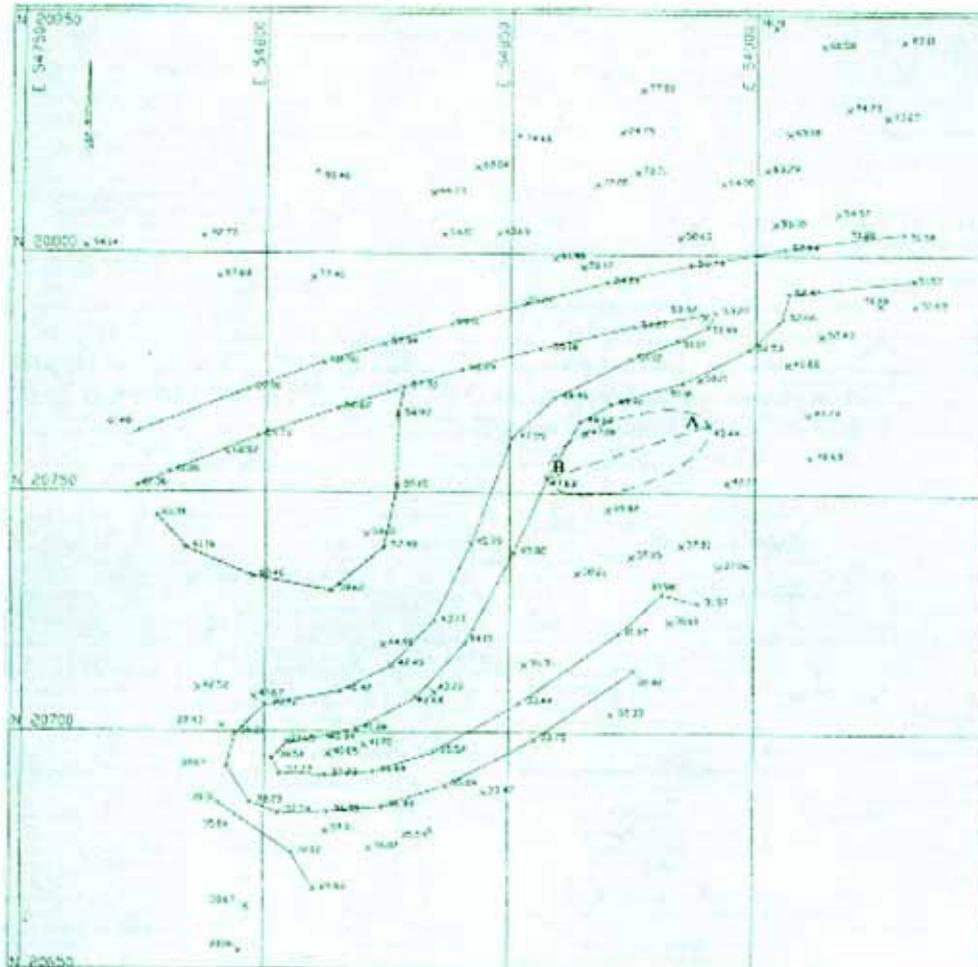


Figura 5. Representación del relieve a través del método de los puntos acotados. Su lectura es muy difícil a pesar de presentar valores reales, lo que significa que posee importantes características geométricas al señalar valores de altitud, pero muy pocas características plásticas. (Fuente: Casanova, 2002, p. 7-11)

Este método es aun utilizado en las cartas marinas, cuya principal finalidad es dar a conocer a los navegantes las profundidades marinas, (batimetría), para evitar encallar. (Véase figura 6), En este caso, los puntos acotados se refieren a profundidad con respecto al nivel medio del mar,

mientras que en los mapas de superficie terrestre los valores se refieren a la altitud sobre el mismo nivel.

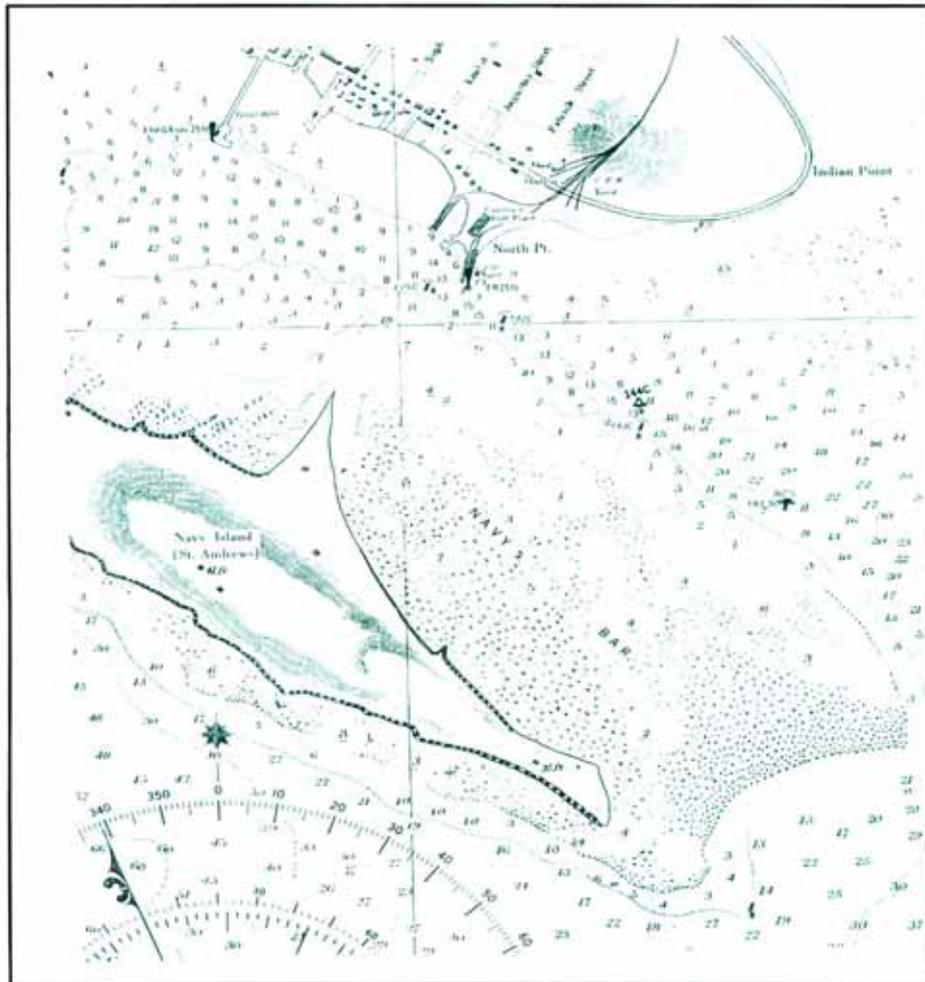


Figura 6. Mapa batimétrico (Fuente: Butler, M., LeBlanc, C., Beldin, J., y MacNeill, J., 1990. P.35).

4. Método de las curvas de nivel para la representación del relieve. Este último de los métodos de representación del relieve en los mapas, que vamos a considerar en este trabajo, consiste en el uso de líneas que unen puntos de igual valor de altitud; es decir, de igual nivel y de allí su nombre. Por considerar que este método es el más importante, su análisis se hará en un capítulo aparte.

CAPITULO III

LA REPRESENTACIÓN DEL RELIEVE EN LOS MAPAS A TRAVÉS DEL MÉTODO DE LAS CURVAS DE NIVEL

Partiendo de puntos acotados en el plano, no como resultado de la representación de un *mapa de puntos acotados* en el cual las cotas que aparecen corresponden a unos sitios claves para señalar las diferencias de altitud de dichos puntos; sino como resultado de una tecnología utilizada por la topografía clásica, se llega al método de las isolíneas o isohipsas, que consiste en el trazado de líneas que unen puntos de igual valor, que en el caso de la representación del relieve reciben el nombre de *curvas de nivel* ya que en este caso las líneas unen puntos de igual valor de altitud, lo que significa que cada línea representa un nivel del terreno que se indica por las cotas que acompañan dichas líneas.

El uso de las curvas de nivel para la representación del relieve se basa en un método muy utilizado en cartografía y que se conoce como *método de las isohipsas, isaritmias o isolíneas* (del griego: *iso* = igual), que consiste en la transformación de una información puntual, en una información lineal, a través de un proceso conocido como *interpolación*, que permite el trazado de líneas que unen puntos de igual valor y, dependiendo del elemento que esté representando, reciben los nombres de:

Curvas de nivel, si representan valores de altitud,

Isoyetas, si representan valores de precipitación;

Isotermas, si representan valores de temperatura;

Isobaras, si representan valores de presión atmosférica, entre otras.

Desde el punto de vista técnico, el problema consiste en transformar una información cuantitativa de carácter puntual en una información, también cuantitativa, pero de tipo lineal; en otras palabras, es el cambio de una implantación puntual a una implantación lineal. Se entiende por *implantación* en expresión gráfica, y consecuentemente en cartografía, el efecto de manchar el plano; es decir, dibujar o registrar un signo en el plano y teniendo en cuenta que ese signo puede presentar características de puntos, líneas o áreas.

Para comprender en que consiste la representación del relieve a través del método de las curvas de nivel, observe la figura 7, en la cual se muestra una montaña vista esquemáticamente y en forma horizontal a la que se le han trazado las líneas de altitud cada 10 metros que, lógicamente aparecen como líneas horizontales paralelas. En la parte inferior de esta figura, se observa la misma montaña, esta vez vista desde arriba en forma vertical y las líneas de nivel se ven ahora como líneas curvas cerradas y acotadas indicando la altitud correspondiente. Si se compara la vista horizontal con la vertical, se puede observar que la separación entre las curvas de nivel indica la pendiente, ya que a mayor unión de las curvas corresponde una mayor pendiente, mientras que a mayor separación de las curvas la pendiente es menor. Obsérvese también en la figura que dos curvas cerradas del mismo nivel indican la existencia de elevaciones separadas por una hondonada o nivel menor a la que indican las curvas más próximas.

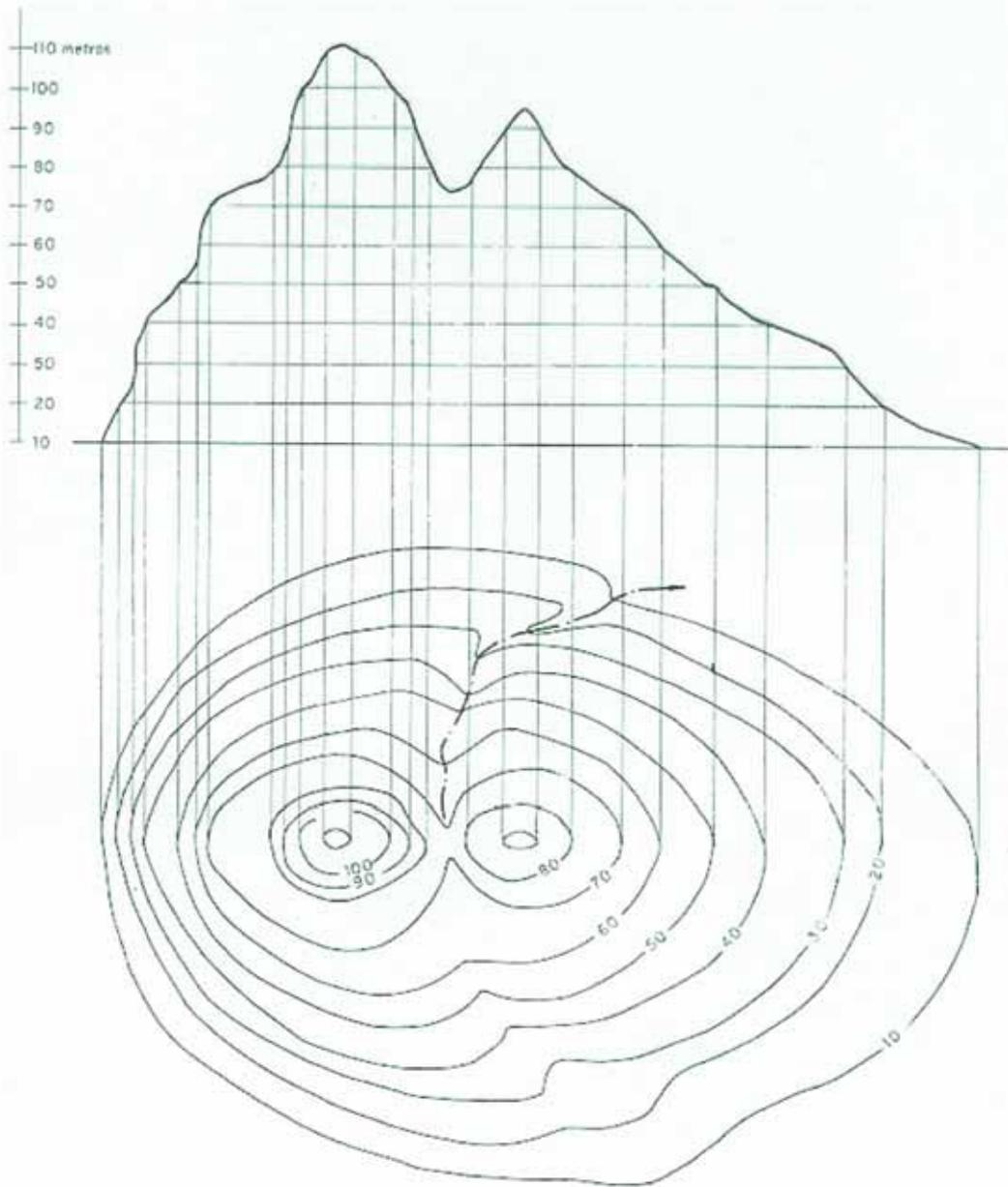


Figura 7. Ejemplo de una montaña vista esquemáticamente y en forma horizontal, a la que se le han trazado las líneas de altitud cada 10 metros que aparecen como líneas horizontales paralelas.

Como puede observarse en la figura 7, las características plásticas de este método dejan mucho que desear ya que no representa semejanzas de ningún tipo con una montaña vista desde lo alto en forma vertical; sin embargo, las características geométricas son muchas ya que a través de este método se pueden realizar medidas y cálculos referentes al relieve, tales como: determinación de la altitud de cualquier punto, cálculo de pendiente entre diferentes puntos, elaboración de cortes y perfiles topográficos, etc. Asimismo, los mapas topográficos con curvas de nivel permiten deducir gran cantidad de información referente a varios tópicos, especialmente de carácter físico, tales como rasgos geológicos, geomorfológicos, entre otros, pero esta deducción solo está al alcance de geógrafos y especialistas en las ramas mencionadas o de personas entrenadas a tal efecto.

En cuanto a las características plásticas de la representación del relieve a través del método de las curvas de nivel, son muy escasas o nulas, pero su uso constante permite adquirir una destreza mediante la cual el lector podrá interpretar las formas del relieve sin gran esfuerzo mental; aunque esto no debe confundirse con las características plásticas del método, tal como se concibe en este trabajo.

1. El trazado de las curvas de nivel. Para la elaboración de mapas de curvas de nivel, o de cualquier otra representación a través de isohipsas o isolíneas, se requiere ubicar en el mapa los valores conocidos de diferentes puntos del área representada, que reciben la denominación de *puntos de control*, tal como aparece en la figura 8a; de la cantidad de puntos de control y de su distribución depende la precisión de la representación.

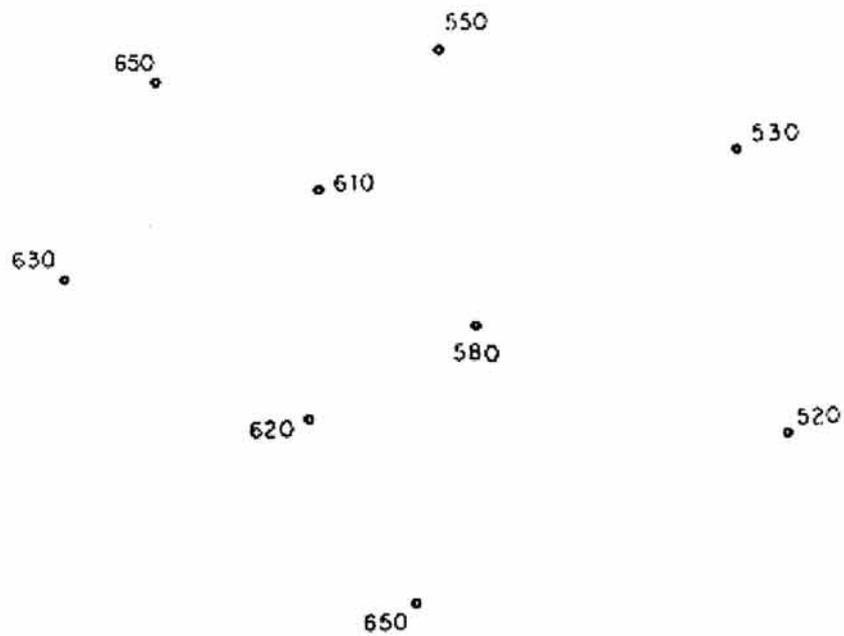


Figura 8a. En este mapa se puede observar un terreno en el cual se han ubicado los valores de altitud de diferentes puntos (puntos de control), distribuidos en toda el área, obteniendo así un mapa de puntos acotados.

Los valores de altitud y la ubicación exacta de estos puntos, se obtiene de un trabajo previo de topografía al cual nos referiremos mas adelante; luego se unen estos puntos a través de líneas rectas cuidando que estas líneas no se crucen, estableciéndose una *triangulación*, denominada así ya que las figuras geométricas resultantes son triángulos cuyos vértices están conformados por los puntos de control, tal como se observa en la figura 8b.

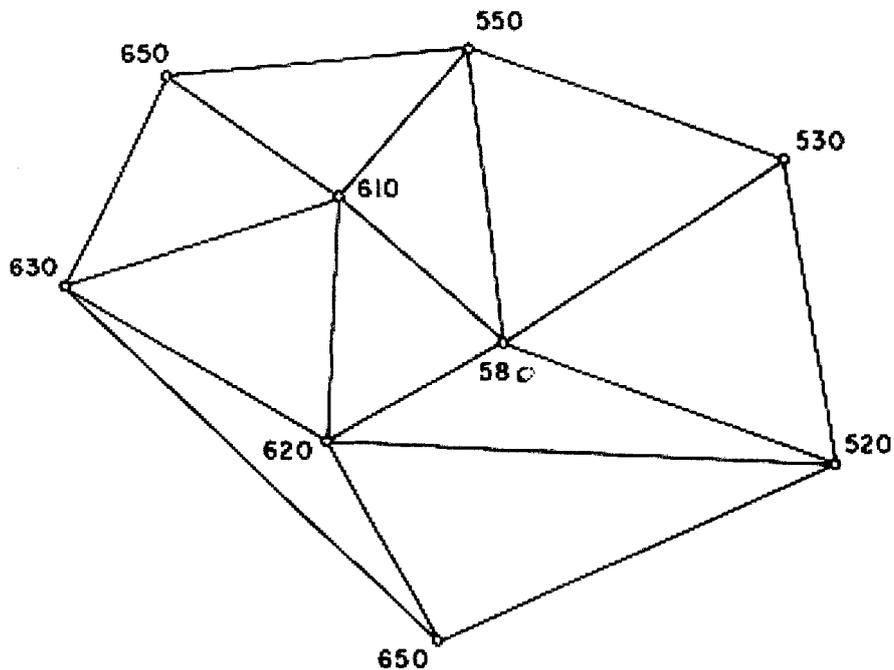


Figura 8b. Los puntos acotados o puntos de control se unen a través de líneas rectas formando una triangulación.

Es necesario aclarar que existen triangulaciones de varios órdenes, según la distancia entre los vértices o puntos de control, siendo la de primer orden, la realizada por los organismos estatales responsables de la cartografía nacional de cada país, con distancias entre 30 y 50 kilómetros. Sobre las líneas de la triangulación se interpolan los valores previamente seleccionados o de intervalo entre las curvas, tal como se presentan en la figura 8c en un proceso que se conoce como *interpolación*.

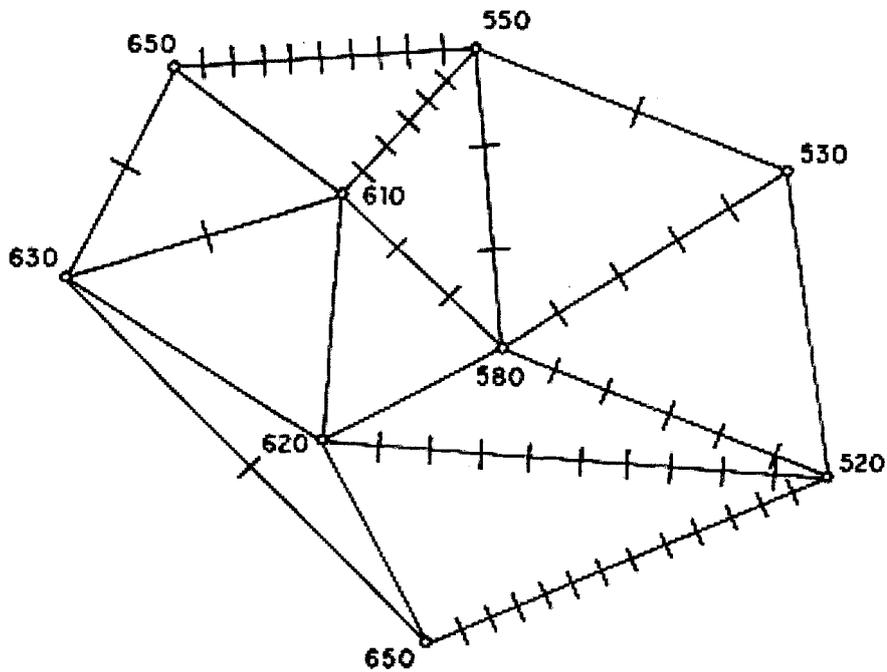


Figura 8c. A partir de la triangulación de la figura 9b, se interpolan los valores correspondientes a las isolíneas o curvas de nivel a ser trazadas. En este ejemplo se interpolaron valores cada 10 metros.

Por último, se unen los puntos correspondientes a un mismo valor a través de líneas que deben empalmarse tomando en cuenta la ubicación de los puntos cercanos, el conocimiento que se tenga del terreno y el drenaje existente. (Véase la figura 8d). Luego que las curvas de nivel han sido trazadas, se hace abstracción de los puntos acotados y de la triangulación para darle claridad al mapa (figura 8e).

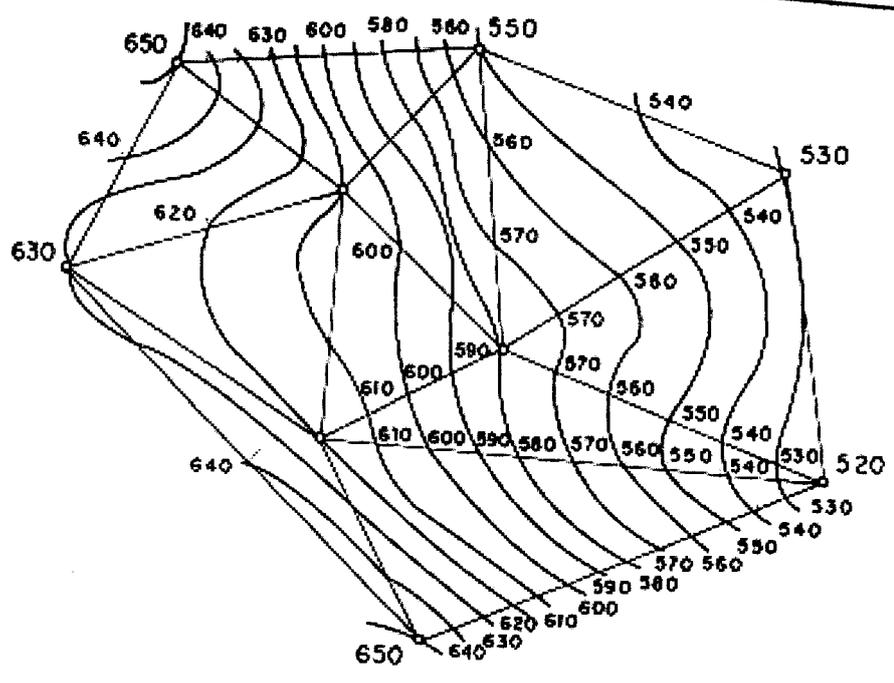


Figura 8d. Los puntos de igual valor se unen mediante líneas curvas que empalman dichos puntos. Para ello se toma en cuenta el conocimiento que se tenga del terreno y la red de drenaje existente.

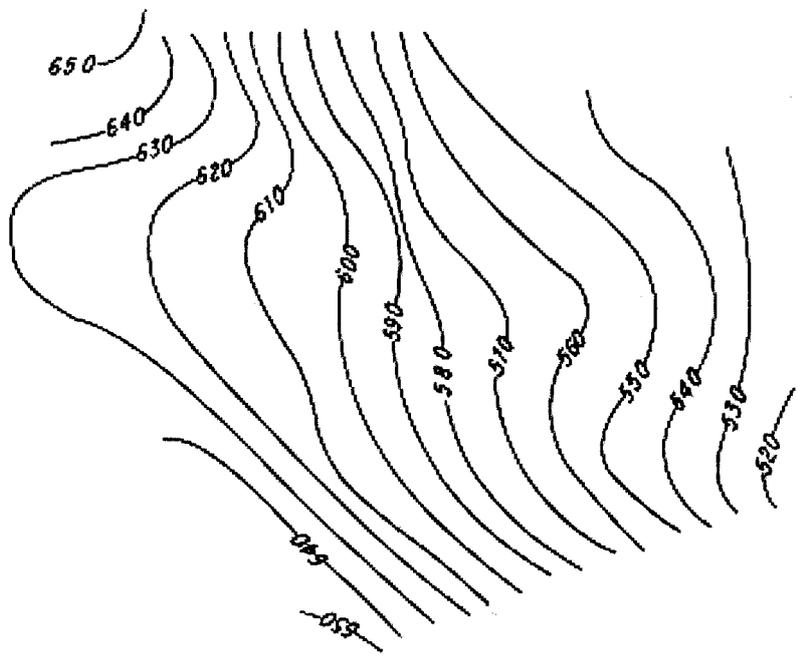


Figura 8e. Una vez que hayan sido trazadas las curvas de nivel, se puede hacer abstracción de los puntos acotados y de la triangulación para darle mayor claridad al mapa.

Otro ejemplo de construcción de curvas de nivel se puede observar en la figura 9a, donde pueden apreciarse los puntos de control o puntos acotados, la triangulación, la interpolación de los valores de las curvas a ser trazadas y el trazado de éstas sin tomar en cuenta el drenaje. En la figura 9b, se aprecia el mismo ejemplo anterior, pero tomando en cuenta el drenaje para el trazado definitivo de las curvas de nivel.

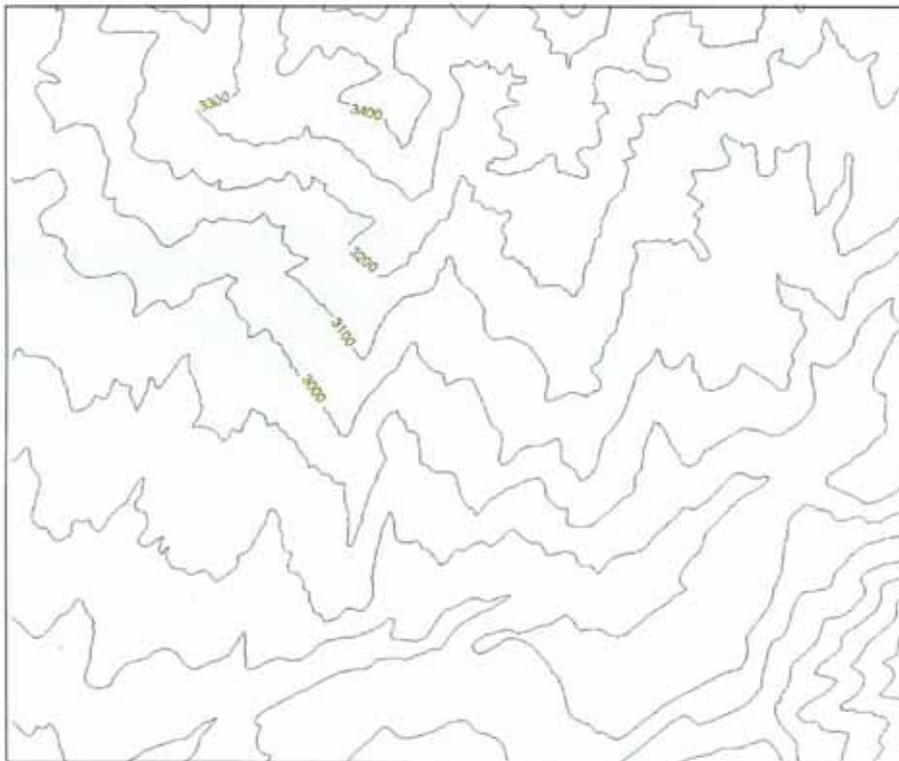


Figura 9a. Acá se muestra otro ejemplo de construcción de un mapa de relieve con el método de las curvas de nivel, sin tomar en cuenta el drenaje para el trazado de las curvas. (Fuente: Dirección de Cartografía Nacional, Hoja 5941 IV-SE, Escala 1:25.000. 1952)

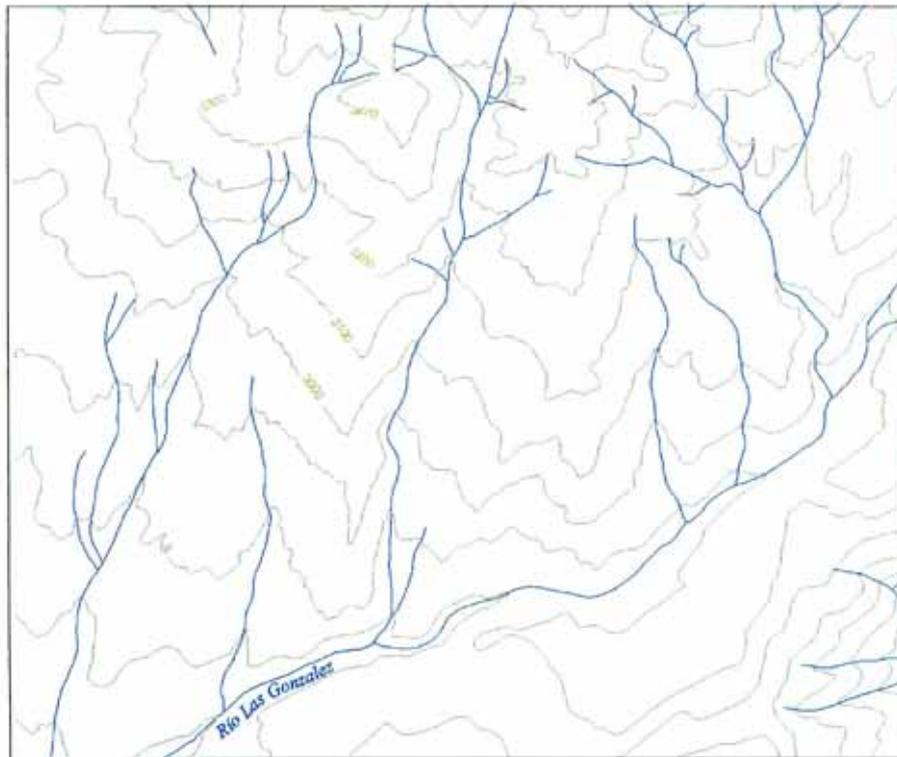


Figura 9b. El mismo ejemplo de la figura 9a, donde las curvas se han adaptado a la red de drenaje. (Fuente: Dirección de Cartografía Nacional, Hoja 5941 IV-SE, Escala 1:25.000. 1952)

En los dos ejemplos anteriores, a fin de facilitar la comprensión del método por triangulación para el trazado de las isolíneas, los valores que se le asignaron a los puntos de control se redondearon a múltiplos de 10, pero en la realidad, los puntos acotados generalmente presentan valores diferentes, lo que dificulta en parte el proceso.

2. Interpolación lineal de valores. El proceso de interpolación lineal de valores para la determinación de puntos de igual elevación, tarea previa al trazado de isohipsas, bien sean curvas de nivel o cualquier otro tipo de curvas de igual valor, puede hacerse en forma manual o automática. El trazado automático se lleva efecto a través de diferentes equipos que

trataremos de explicar mas adelante. A continuación haremos una descripción de los tres métodos manuales mas utilizados.

2.1. Método lógico. Para explicar el proceso de interpolación de valores entre dos puntos acotados se hará un ejemplo simplificado que se muestra en la figura 10, donde se observan dos puntos acotados **A** y **B** con valores de altitud de 324 y 532 metros sobre el nivel del mar (msnm) respectivamente, los puntos presentan una separación horizontal entre ellos de 5,7 centímetros ó 57 milímetros, y entre ellos se van a trazar las curvas de nivel cada 40 metros, lo que significa que entre esos puntos (324 y 532 m.), se trazarán las curvas 360, 400, 440, 480 y 520 m..

Para establecer las distancias entre las curvas, se relaciona la distancia o separación entre los puntos acotados con la diferencia entre sus cotas de altitud o diferencia de nivel, lo que supondría una pendiente regular entre ambos puntos, y basándose en una regla de tres simple se calcula la distancia para cualquier diferencia de nivel. Así, por ejemplo, para calcular el punto por el que debe pasar la curva de 360 m.s.n.m., se busca la diferencia entre esta y la cota del punto **A**, que es de 324 m.s.n.m.:

$$360 - 324 = 36 \text{ msnm.}$$

y relacionando este valor con la distancia y la diferencia entre los puntos acotados **A** y **B**, tendríamos:

$$532 - 324 = 208 \text{ msnm.}$$

Luego se plantea lo siguiente: Si en 208 m. de diferencia de nivel, hay una distancia de 57 mm. ¿Cuál sería la distancia en una diferencia de 36 m?, lo cual matemáticamente se expresa a través de una regla de tres simple:

Diferencia de Nivel	Distancias en el mapa
---------------------	-----------------------

$$208 \text{ m} - 57 \text{ mm.}$$

$$36 \text{ m} - X$$

Despejando X, tendríamos:

$$36 \text{ m} \times 57 \text{ mm.}$$

$$X = \frac{\text{-----}}{208 \text{ m}} = 9,86 \text{ mm.}$$

Esto significa que a 9,86 mm. del punto A, pasa la curva de los 360 metros.

Luego se procede en la misma forma para saber cual es la distancia para 40 m.

$$208 \text{ m} - 57 \text{ mm.}$$

$$40 \text{ m} - X$$

$$\text{donde X sería} = 10,96 \text{ mm.}$$

Procediendo de esa forma se puede establecer que las curvas en el ejemplo considerado pasan a las siguientes distancias del punto A:

- A los 9,86 mm. pasa la curva de 360 m,
- a los 20,82 mm. pasa la curva de 400 m,
- a los 31,78 mm. pasa la curva de 440 m,
- a los 42,74 mm. pasa la curva de 480 m, y
- a los 53,70 mm. pasa la curva de 520 m.

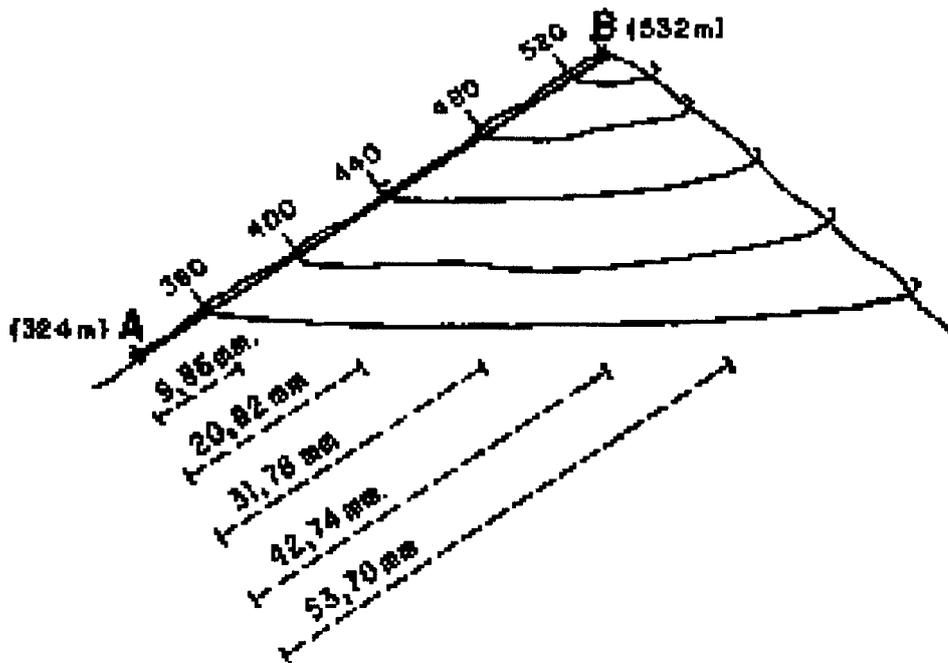


Figura 10. Explicación del proceso de interpolación de los puntos por donde pasan las isolíneas cada 40 metros entre los puntos A y B del gráfico con valores de altitud de 324 y 532 m. respectivamente.

A continuación presentamos en forma detallada los diferentes pasos que deben realizarse en la aplicación del método lógico para la interpolación lineal de valores en una representación del relieve en base a curvas de nivel.

1. Se determina el desnivel entre los puntos **A** y **B** o puntos de control entre los cuales se va a interpolar los valores.

(En el ejemplo: $532 - 324 = 208$ msnm)

2. Se determina la distancia horizontal entre los mismos puntos o la distancia en el mapa.

(En el ejemplo: 57 mm)

3. Se calcula la diferencia de nivel entre la cota menor o de referencia, (Punto **A**) y la cota de las curvas que se va a trazar,

(En el ejemplo: $360 - 324 = 36$ msnm)

4. Se relaciona la diferencia de nivel entre los puntos **A** y **B** con la distancia entre esos puntos en el mapa o distancia horizontal a través de una regla de tres simple.

(En el ejemplo: Distancia en el mapa - Diferencia de Nivel

57 mm. - 208 m.

X - 36 m.

X = 9,86 mm.

5. Los puntos 3 y 4 se repiten para cada uno de los valores de las curvas que deben trazarse en el segmento considerado.

En el caso que nos ocupa; 360, 429, 480 y 520 m.

Esta misma forma de cálculo es planteada por Casanova (2002) en su trabajo "Topografía Plana" utilizando la siguiente fórmula:

$$X_i = (D_t/A_t) * A_i$$

donde:

A_t = desnivel total entre los puntos extremos.

D_t = distancia horizontal entre los puntos extremos.

A_i = desnivel parcial entre el punto de cota redonda o punto donde debe pasar la curva de nivel i , y el punto de menor cota.

X_i = distancia horizontal entre el punto de menor cota y el punto de cota redonda, o punto donde debe pasar la curva de nivel.

Es decir:

$$A_t = 208 \text{ m.}$$

$$D_t = 57 \text{ mm.}$$

$$A_i = 36 \text{ m.}$$

$$57 \text{ mm.}$$

$$X_i = \frac{\text{-----}}{208 \text{ m.}} \times 36 \text{ m.}$$

$$208 \text{ m.}$$

$$X_i = 9,86 \text{ mm.}$$