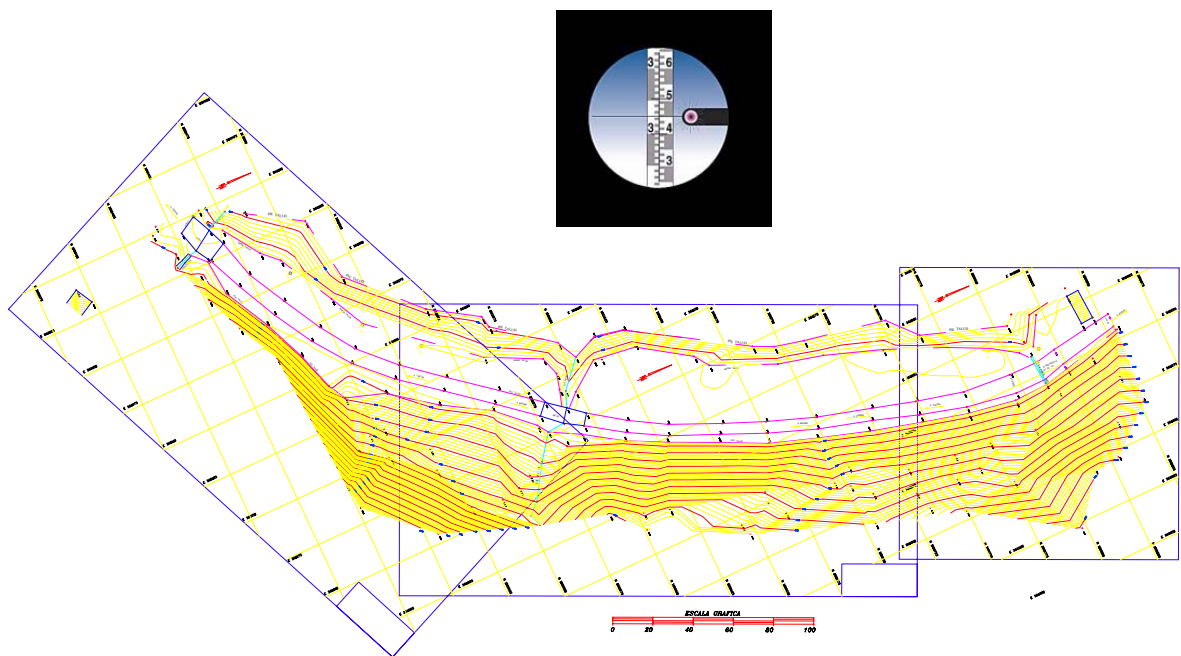




**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE VIAS**

## ***TOPOGRAFIA PLANA***



*LEONARDO CASANOVA MATERA*

MERIDA – 2002

HECHO EL DEPOSITO DE LEY  
Depósito Legal lf23720027702059  
ISBN 980-11-0672-7

*Impreso en Venezuela / Printed in Venezuela  
Taller de Publicaciones de Ingeniería, ULA / Mérida 2002*

## PRÓLOGO

Innumerables son las situaciones en las que los ingenieros, arquitectos, geógrafos, geólogos, planificadores y urbanistas necesitan conocer con cierta exactitud, la forma y tamaño de un determinado sector de la superficie terrestre.

Dos diferentes disciplinas se ocupan de la medición y representación de la superficie terrestre. La GEODESIA, que se encarga de estudiar grandes extensiones de tierra y la cual considera a la tierra como un elipsoide de revolución, y la TOPOGRAFÍA, que se dedica a extensiones más pequeñas, considerando la superficie terrestre como una superficie plana. La escogencia del método a utilizar para la representación de la superficie terrestre dependerá de la extensión y finalidad del trabajo.

Siendo que la representación de la superficie terrestre es indispensable en todas y cada una de las fases de cualquier proyecto de ingeniería, y que la mayoría de nuestros proyectos abarcan zonas que pueden considerarse dentro de los límites del campo topográfico, el presente texto se dedica al estudio de la TOPOGRAFÍA PLANA y sus aplicaciones en algunos de los campos de la ingeniería civil.

EL AUTOR

Mérida, 2002

## ***DEDICATORIA***

*A Dios y La Virgen*

*A mis padres Ramón Vicente y Luz Elena*

*A mi esposa María Stella*

*A mis hijas María Verónica y María Luciana*

*A mis hermanos*

*A mis compañeros del Departamento de Vías*

*A los alumnos de la Escuela de Ingeniería Civil*

*A mis amigos*

*A la Universidad de los Andes*

*A la Memoria de C. L Miller (1929 – 2000)*

## **INDICE**

|  | <i>Pag.</i> |
|--|-------------|
| <b>PROLOGO</b>                                     |             |
| <b>CAPITULO 1</b>                                  |             |
| <b>ELEMENTOS DE<br/>GEOMETRÍA Y TRIGONOMETRIA</b>  |             |
| 1.1. Elementos de Geometría                        | 1-1         |
| 1.1.1. Sistema de coordenadas rectangulares        | 1-1         |
| 1.1.2. Sistema de coordenadas polares              | 1-2         |
| 1.1.3. Relaciones geométricas entre ambos sistemas | 1-3         |
| 1.1.4. La recta                                    | 1-5         |
| 1.1.5. El círculo                                  | 1-10        |
| 1.1.6. Cálculo de áreas                            | 1-11        |
| 1.1.6.1. Área de figuras elementales               | 1-12        |
| 1.1.6.2. Área de un polígono por sus coordenadas   | 1-13        |
| 1.1.6.3. Áreas de superficies irregulares          | 1-17        |
| 1.1.7. Volumen                                     | 1-22        |
| 1.1.7.1. Volumen de sólidos elementales            | 1-22        |
| 1.1.7.2. Volumen entre secciones transversales     | 1-24        |
| 1.1.7.2.1. Método de las áreas medias              | 1-24        |
| 1.1.7.2.2. Método del prismoide                    | 1-31        |
| 1.2. Elementos de Trigonometría                    | 1-35        |
| 1.2.1. Ángulos                                     | 1-35        |
| 1.2.2. Sistemas de medidas angulares               | 1-36        |
| 1.2.2.1. Sistema sexagesimal                       | 1-36        |
| 1.2.2.2. Sistema sexadecimal                       | 1-37        |
| 1.2.2.3. Sistema centesimal                        | 1-37        |
| 1.2.2.4. Sistema analítico                         | 1-38        |
| 1.2.2.5. Relaciones entre los diferentes sistemas  | 1-38        |
| 1.2.3. Relaciones trigonométricas fundamentales    | 1-40        |
| 1.2.3.1. Triángulo rectángulo                      | 1-40        |
| 1.2.3.2. Triángulo oblicuo                         | 1-42        |
| Problemas Propuestos                               | 1-44        |
| <br><b>CAPITULO 2</b>                              |             |
| <b>INSTRUMENTOS<br/>TOPOGRÁFICOS</b>               |             |
| 2.1. Instrumentos simples                          | 2-1         |
| 2.1.1. Cintas métricas y accesorios                | 2-1         |
| 2.1.2. Escuadras                                   | 2-6         |
| 2.1.3. Clisímetro                                  | 2-7         |
| 2.1.4. Brújula                                     | 2-7         |
| 2.1.5. Miras Verticales                            | 2-9         |
| 2.1.6. Miras Horizontales                          | 2-10        |
| 2.1.7. Planímetro                                  | 2-11        |

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| 2.2. Instrumentos principales       | 2-12 |
| 2.2.1. Teodolitos                   | 2-12 |
| 2.2.2. Teodolitos Electrónicos      | 2-17 |
| 2.2.3. Estación total electrónica   | 2-17 |
| 2.2.4. Estaciones robóticas         | 2-18 |
| 2.2.5. Niveles                      | 2-19 |
| 2.2.6. Distanciómetros electrónicos | 2-24 |

### ***CAPITULO 3***

#### ***MEDICIÓN DE DISTANCIAS***

|  |      |
|--|------|
| 3. Medición de distancias                                    | 3-1  |
| 3.1. Distancia topográfica                                   | 3-1  |
| 3.2. Medición de distancias con odómetro                     | 3-2  |
| 3.3. Medición de distancias con telémetro                    | 3-3  |
| 3.4. Medición de distancias con cintas de acero              | 3-3  |
| 3.4.1. Corrección de errores sistemáticos                    | 3-4  |
| 3.4.2. Errores aleatorios                                    | 3-12 |
| 3.4.3. Errores groseros                                      | 3-14 |
| 3.4.4. Errores accidentales                                  | 3-14 |
| 3.5. Medición óptica de distancias                           | 3-14 |
| 3.6. Medición de distancias con mira horizontal invar.       | 3-20 |
| 3.7. Medición de distancias con distanciómetros electrónicos | 3-22 |
| Problemas propuestos   | 3-25 |

### ***CAPITULO 4***

#### ***MEDICIÓN DE ANGULOS***

|   |      |
|---|------|
| 4. Medición de ángulos  | 4-1  |
| 4.1. Límites del campo topográfico planimétrico                                   | 4-2  |
| 4.2. Medición de ángulos horizontales por medio de distancias horizontales        | 4-3  |
| 4.2.1. Por la ley del coseno  | 4-3  |
| 4.2.2. Por construcción de triángulo isósceles                                    | 4-4  |
| 4.3. Medición de ángulos con teodolitos   | 4-6  |
| 4.3.1. Condiciones de exactitud   | 4-6  |
| 4.3.1.1. El eje vertical [VV] debe coincidir con la vertical                      | 4-6  |
| 4.3.1.2. El eje horizontal [HH] debe ser perpendicular a [VV]                     | 4-8  |
| 4.3.1.3. El eje de colimación [CC] debe ser perpendicular a [HH]                  | 4-10 |
| 4.3.1.4. El eje vertical [VV] debe pasar por el centro del círculo horizontal [O] | 4-11 |
| 4.3.1.5. El eje de colimación [CC] debe cortar a [VV]                             | 4-12 |
| 4.3.1.6. Intervalos de los círculos graduados con igual amplitud                  | 4-14 |
| 4.3.1.6.1 Método de repetición  | 4-15 |
| 4.3.1.6.2 Método de reiteración   | 4-17 |
| 4.3.1.7. El eje de colimación [CC] y el eje del nivel tórico deben ser paralelos  | 4-18 |

|  |      |
|--|------|
| 4.4. Sistemas de lectura de círculos graduados | 4-20 |
| 4.4.1. Sistema de Nonio o Vernier              | 4-20 |
| 4.4.2. Otros sistemas de lectura               | 4-22 |
| Problemas propuestos                           | 4-23 |

## ***CAPITULO 5***

### ***PROCEDIMIENTOS TOPOGRAFICOS***

|   |      |
|---|------|
| 5. Procedimientos topográficos                              | 5-1  |
| 5.1. Poligonales  | 5-1  |
| 5.1.1. Cálculo y compensación de poligonales                | 5-3  |
| 5.1.1.1. Cálculo y compensación del error de cierre angular | 5-4  |
| 5.1.1.2. Ley de propagación de los acimutes                 | 5-5  |
| 5.1.1.3. Cálculo de las proyecciones de los lados           | 5-7  |
| 5.1.1.4. Cálculo del error de cierre lineal                 | 5-8  |
| 5.1.1.5. Compensación del error lineal                      | 5-10 |
| 5.1.1.5.1. Método de la brújula                             | 5-10 |
| 5.1.1.6. Cálculo de las coordenadas de los vértices         | 5-11 |
| 5.2. Triangulación  | 5-20 |
| 5.2.1. Consistencia de los triángulos                       | 5-22 |
| 5.2.2. Compensación de triángulos                           | 5-22 |
| 5.2.2.1. Compensación de una red de triángulos              | 5-22 |
| 5.2.2.1.1. Condición angular                                | 5-22 |
| 5.2.2.1.2. Condición de lado                                | 5-22 |
| 5.2.2.2. Compensación de un cuadrilátero                    | 5-25 |
| 5.2.2.2.1. Condición angular                                | 5-25 |
| 5.2.2.2.2. Condición de lado                                | 5-25 |
| Problemas propuestos  | 5-29 |

## ***CAPITULO 6***

### ***NIVELACION***

|   |      |
|---|------|
| 6. Nivelación   | 6-1  |
| 6.1. Forma de la Tierra                               | 6-1  |
| 6.2. Curvatura y refracción                           | 6-3  |
| 6.3. Nivelación trigonométrica                        | 6-6  |
| 6.4. Nivelación taquimétrica                          | 6-9  |
| 6.5. Nivelación Geométrica                            | 6-11 |
| 6.5.1. Nivelación geométrica simple desde el extremo  | 6-11 |
| 6.5.2. Nivelación geométrica simple desde el medio    | 6-13 |
| 6.5.3. Nivelación geométrica compuesta desde el medio | 6-14 |
| 6.6. Nivelación de perfiles                           | 6-16 |
| 6.7. Control de nivelaciones                          | 6-18 |
| 6.7.1. Error de cierre                                | 6-18 |
| 6.7.2. Tolerancia del error de cierre                 | 6-19 |
| 6.7.3. Compensación de nivelaciones                   | 6-20 |

|   |      |
|---|------|
| 6.7.3.1. Compensación proporcional a la distancia | 6-20 |
| 6.7.3.2. Compensación sobre los puntos de cambio  | 6-21 |
| 6.8. Cálculo y ajuste del error de inclinación    | 6-24 |
| Problemas propuestos                              | 6-26 |

## ***CAPITULO 7***

### ***LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS***

|   |      |
|---|------|
| 7. Levantamientos topográficos                              | 7-1  |
| 7.1. Métodos taquimétricos                                  | 7-1  |
| 7.1.1. Con teodolito y mira vertical                        | 7-1  |
| 7.1.2. Con estación total                                   | 7-8  |
| 7.2. Representación gráfica del relieve del terreno         | 7-10 |
| 7.2.1. El plano acotado                                     | 7-10 |
| 7.2.2. Las curvas de nivel                                  | 7-12 |
| 7.2.2.1. Equidistancia                                      | 7-12 |
| 7.2.3. Métodos para la determinación de las curvas de nivel | 7-13 |
| 7.2.3.1. Método analítico                                   | 7-13 |
| 7.2.3.2. Método gráfico                                     | 7-15 |
| 7.2.4. Características de las curvas de nivel               | 7-19 |
| 7.3. Levantamiento y representación de superficies          | 7-21 |
| 7.3.1. Método de la cuadrícula                              | 7-21 |
| 7.3.2. Método de radiación                                  | 7-22 |
| 7.3.3. Método de secciones transversales                    | 7-23 |
| Problemas propuestos  | 7-26 |

## ***CAPITULO 8***

### ***REPRESENTACIÓN DE PLANOS***

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 8. Presentación de planos  | 8-1  |
| 8.1. Escalas               | 8-1  |
| 8.1.1. Manejo de Escalas   | 8-3  |
| 8.2. Elaboración de planos | 8-5  |
| Problemas propuestos       | 8-10 |

## ***CAPITULO 9***

### ***APLICACIONES DE LAS CURVAS DE NIVEL***

|   |     |
|---|-----|
| 9. Aplicaciones de las curvas de nivel  | 9-1 |
| 9.1. Cálculo de pendientes  | 9-1 |
| 9.2. Trazado de líneas de pendiente constante                                   | 9-4 |
| 9.3. Cálculo de la cota de un punto   | 9-6 |
| 9.4. Perfiles, secciones y cálculo de volúmenes a partir de las curvas de nivel | 9-7 |



|  |      |
|--|------|
| 9.4.1. Perfiles longitudinales   | 9-7  |
| 9.4.2. Secciones transversales   | 9-8  |
| 9.4.3. Cálculo de volúmenes a partir de las secciones transversales                                      | 9-11 |
| 9.5. Topografía modificada   | 9-19 |
| 9.6. Cálculo de volumen de almacenamiento de agua en represas o embalses a partir de las curvas de nivel | 9-22 |
| Problemas propuestos   | 9-25 |

## ***CAPITULO 10***

### ***SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (G.P.S.)***

|  |       |
|--|-------|
| 10. Sistema de posicionamiento global                    | 10-1  |
| 10.1. Fundamentos  | 10-2  |
| 10.1.1. Trilateración satelital                          | 10-2  |
| 10.1.2. Medición de distancia desde los satélites        | 10-3  |
| 10.1.3. Precisión en la medida del tiempo                | 10-4  |
| 10.1.4. Posicionamiento del satélite                     | 10-4  |
| 10.1.5. Corrección de errores                            | 10-5  |
| 10.1.5.1. Errores propios del satélite                   | 10-5  |
| 10.1.5.2. Errores originados por el medio de propagación | 10-6  |
| 10.1.5.3. Errores en la recepción                        | 10-6  |
| 10.2. Componentes del sistema G.P.S.                     | 10-7  |
| 10.2.1. El segmento usuario                              | 10-8  |
| 10.2.2. El segmento espacial                             | 10-9  |
| 10.3. Precisiones con G.P.S.                             | 10-9  |
| 10.4. Sistemas de coordenadas                            | 10-10 |
| 10.5. Sistemas de proyecciones                           | 10-11 |
| 10.6. Aplicaciones de los G.P.S.                         | 10-11 |

