



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

GUÍA TEÓRICA Y PRÁCTICA DEL CURSO DE TOPOGRAFÍA 3

SERGIO IVAN REYES ARREAGA

Asesorado por Ing. Alfredo Beber Aceituno

Guatemala, octubre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

GUÍA TEÓRICA Y PRÁCTICA DEL CURSO TOPOGRAFÍA 3

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO IVAN REYES ARREAGA

ASESORADO POR: ING. ALFREDO BEBER ACEITUNO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Isuur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Marcia Ivonne Veliz Vargaz

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Antonio Arreaga Solares
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Saenz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA TEÓRICA Y PRÁCTICA DEL CURSO DE TOPOGRAFÍA 3,

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 7 de mayo de 2004.

SERGIO IVAN REYES ARREAGA

AGRADECIMIENTOS A

Dios	Por darme la vida, la fortaleza, el aliento para terminar la carrera.
Mi familia	Por apoyarme siempre, por estar conmigo en los malos y buenos momentos, por ser lo mejor que Dios me ha dado en esta vida.
Mi Asesor	Por enseñarme en toda la carrera, ser un amigo y darme el interés de seguir en ella.
La Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala	Por darme los conocimientos necesarios para sobresalir profesionalmente
Mis amigos	Por compartir las felicidades, las angustias y los éxitos en los estudios y ahora compartiendo experiencias profesionales sin recelos.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por guiarme y darme tantas bendiciones.
Mis padres	Susano Fortunato y Maria Elena, por apoyarme y sacrificarse por mí, esto es sólo una pequeña muestra de lo que han inculcado, espero que yo sea el hombre sencillo y prudente que desearon formar.
Mis hermanos	Nancy Nereida, Claudia Prisyła, Silvia Lucrecia, Jorge Jacobo, Evert Estuardo, por apoyarme incondicionalmente.
Mis Sobrinos	Por enseñarme lo sencillo que es la vida.
Ella	Por compartir los sueños de felicidad e ilusión.
La vida	Por enseñarme que sólo con esfuerzo y dedicación se cosechan los frutos del éxito.

CAMINOS

Camino solo ayudado por mi intelecto con un solo amigo, *el perfecto*, que me entiende por ser el creador de mis sueños e ilusiones, el conoce mi cielo, comprende lo que quiero, me da lo que necesito, pero a veces lo he olvidado, ese amigo es Dios.

Me ayuda cuando tengo hambre, cuando tengo sed, cuando estoy triste, cuando caigo en los placeres mundanos, me levanta y me aconseja, es lo mejor que me pudo pasar en la vida, conocerlo y sentir que esta a mi lado.

Le agradezco haberme tendido la mano cuando mas lo he necesitado, y le pido perdon por no agradecerle todo lo que me a regalado.

Dios es todo el poder fisico y mental que podemos descubrir, muchas veces nos alienta a que tratemos de subir la montaña interminable de problemas para convertirlas en batallas ganadas gracias a su gloria.

La vida es una guerra, para clasificar a quienes quiere el en su ejercito, para luchar para los mas necesitados de fe y este es un ejemplo, este documento solo es una pizca del poder de el.

Sube pierdete en las montañas del descubrimiento de su magnanina inteligencia, eso es lo que quiere el de ti, que seas una persona digna de su creacion, que seas orgullo de tu familia y de tus amigos.

Le doy gracias a el por iluminarme, por que me a ayudado a encontrar a los guias perfectos, la practica necesaria, el interes de ayudar y proteger los sentimientos sanos, para combertireme en la persona y el profesional que debo de ser.

Gracias Señor.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VIII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XII
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. FOTOGRAMETRÍA	1
1.1. Fotogrametría terrestre.....	2
1.2. Fotogrametría aérea.....	2
1.2.1. Fotografía aérea vertical.....	4
1.2.2. Fotografía aérea oblicua.....	5
1.2.3. Principios geométricos de la fotografía aérea.....	7
1.2.4. Escala de una fotografía aérea.....	8
1.2.5. Proyección central y proyección ortogonal.....	12
1.2.6. Formatos usados en la fotografía aérea.....	13
1.2.7. Fotografía aérea de colores y blanco y negro.....	14
1.3. Cámaras de fotografía aérea.....	14
1.4. Plan de vuelo.....	18
1.4.1. Traslape.....	19
1.4.2. Cálculo de plan de vuelo.....	20
1.5. Estereoscopia.....	23
1.5.1. Clases de estereoscopios.....	26
1.5.2. Percepción de la Profundidad.....	27
1.6. Fotocontrol.....	28
1.7. Restitución fotogramétrica.....	28
1.7.1. Aparatos y métodos para restitución fotogramétrica.....	29

1.8.	Productos fotogramétricos.....	32
1.8.1.	Mosaicos.....	32
1.8.1.1.	Mosaico Índice.....	32
1.8.1.2.	Mosaico de Contacto o Semicontrolado.....	33
1.8.2.3.	Mosaico Rectificado.....	33
1.8.2.	Mapas.....	33
1.8.3.	Ortofotomapas.....	34
1.9.	Aéreo triangulación.....	36
1.9.1.	Aéreo triangulación analógica.....	37
1.9.2.	Aéreo triangulación analítica.....	37
2.	CARTOGRAFIA.....	39
2.1.	Servicios de la cartografía.....	39
2.2.	Escala de un plano o mapa.....	40
2.2.1	Escalas usadas en Guatemala.....	41
2.3.	Proyecciones cartográficas.....	42
2.4.	Deformación de las representaciones cartográficas.....	42
2.4.1.	Deformaciones lineales.....	43
2.4.2.	Deformaciones superficiales.....	43
2.4.3.	Deformaciones angulares.....	44
2.4.4.	Escala local.....	44
2.5.	Clasificación de proyecciones según sus deformaciones.....	45
2.5.1.	Proyecciones equivalentes.....	45
2.5.2.	Proyecciones conformes.....	46
2.5.3.	Proyecciones afilácticas.....	46
2.5.4.	Proyecciones automecoicas.....	46
2.6.	Clasificación de las proyecciones por el sistema de transformación...47	
2.6.1.	Sistema de proyección en perspectiva.....	47
2.6.2.	Sistema de desarrollo.....	47
2.6.3.	Proyección Ortográfica.....	48

2.6.3.1.	Proyección Ortográfica Polar.....	48
2.6.3.2.	Proyección Ortográfica Meridiana.....	49
2.6.3.3.	Proyección Ortográfica Cenital u Horizontal.....	50
2.6.4.	Proyección Estereográfica.....	51
2.6.4.1.	Proyección Estereográfica Ecuatorial.....	51
2.6.4.2.	Proyección Estereográfica Meridiana.....	51
2.6.4.2.	Proyección Estereográfica Cenital.....	52
2.6.5.	Proyección Gnomónica o Central.....	53
2.7.	Proyecciones por desarrollo.....	56
2.7.1.	Proyección Cilíndrica.....	57
2.7.2.	Proyección Cónica.....	59
2.8.	Clasificación de Coordenadas.....	60
2.8.1.	Coordenadas Geográficas.....	60
2.8.2.	Coordenadas Astronómicas.....	62
2.8.3.	Coordenadas Topográficas.....	65
2.8.4.	Proyección Mercator.....	66
2.8.5.	Proyección Transversal de Mercator.....	66
2.9.	Fórmulas transformación de coordenadas geográficas a utm.....	69
2.10.	Transformación de coordenadas utm a geográficas.....	70
2.11.	Cálculo de convergencia.....	71
2.12.	Corrección de escala.....	72
2.13.	Ejemplo resuelto transformación de coordenadas geográficas a utm.....	73
2.14.	Ejemplo resuelto de transformación de coordenadas utm a geográficas.....	74
2.15.	Ejemplos resueltos por pasos.....	76
3.	GEODESIA.....	87
3.1.	Figura y superficies de la tierra.	88
3.2.	Principios relativos a los levantamientos geodésicos.....	93

3.2.1.	Corrección de Esfericidad.....	95
3.2.2.	Corrección de Refracción.....	98
3.3.	Métodos geodésicos.....	104
3.4.	Redes geodésicas.....	106
3.5.	Trabajos de campo.....	108
3.6	Señales permanentes.....	110
3.7.	Trabajos de gabinete.....	111
4.	IMAGEN SATELITAL.....	113
4.1.	Primera generación.....	113
4.2.	La segunda generación.....	115
4.3.	La tercera generación.....	116
4.4.	El espectro electromagnético.....	117
4.4.1.	Percepción remota.....	117
4.4.2.	Regiones de importancia en el espectro electromagnético...	119
4.4.3.	Términos y unidades de medida.....	120
4.4.4.	Principios y leyes de la radiación electromagnética.....	121
4.5.	Propiedades de los sensores.....	123
4.5.1.	¿Qué puede ser medido?.....	123
4.5.2.	¿Cuáles son las limitaciones?.....	123
4.5.3.	Tipo de satélites (sensores).....	124
4.5.3.1.	Sensores de microondas.....	124
4.5.3.2.	Scatterometer.....	125
4.5.4.3.	Altímetro.....	125
4.5.4.4.	Radar de apertura sintética (SAR)-.....	125
4.5.4.5.	Radiómetros de microonda pasivos.....	126
4.5.4.6.	Color del océano y sensores infrarrojos.....	126
4.5.4.7.	Resolución radiométrica.....	126
4.5.4.8.	Resolución temporal.....	127
4.6.	Adquisición de datos mediante satélites de escaneo.....	127

4.6.1.	Formato de la imagen.....	128
4.7.	Principios de procesamiento digital de imágenes.....	129
4.8.	Imágenes digitales.....	130
4.9.	Despliegue de los datos.....	131
4.10.	Procesamiento de imagen.....	133
4.10.1.	Correcciones radiométricas.....	133
4.10.2.	Correcciones geométricas.....	134
4.10.3.	Mejoramiento de imagen.....	135
4.10.3.1.	Mejora del contraste.....	135
4.10.3.2.	Detección de borde.....	136
4.10.3.3.	Mejoramiento del color.....	139
4.10.3.4.	Suavizado.....	140
4.10.3.5.	Mejoramiento multimagen.....	142
4.11.	Interpretación de imágenes.....	144
4.11.1.	Clasificación de imágenes.....	144
4.12.	Usos y modelos de la fotografía satelital.....	144
4.12.1.	Principios de la altimetría por satélite.....	144
4.13.	Distancia medida por un radar altímetro.....	148
4.14.	Correcciones por transmisión.....	150
4.15.	Errores por rugosidad superficial.....	151
4.16.	Estableciendo un dato.....	152
4.17.	Topex/Poseidón.....	152
4.17.1.	Posicionamiento de TOPEX.....	154
4.17.2.	Comprobación del altímetro.....	155
4.18.	Datos.....	156
4.18.1.	Procesamiento de datos científicos.....	156
4.18.2.	Topografía del océano.....	156
4.18.3.	Variabilidad de la superficie del mar.....	157
4.18.4.	Altura significativa de ola.....	159

4.18.5. Viento.....	160
4.19. Aplicaciones.....	161
4.19.1 Clima Global.....	162
4.19.2. Eddies.....	163
4.19.3. Mareas.....	164
4.19.4. El niño.....	165
4.19.5. Circulación oceánica global.....	166
5. ORDENAMIENTO TERRITORIAL.....	167
5.1. Enfoques.....	168
5.1.1 Ordenamiento activo y pasivo.....	168
5.1.1.1. Ordenamiento activo.....	168
5.1.1.2. Ordenamiento Pasivo.....	169
5.2. Cualidades.....	169
5.2.1. Proceso Planificado.....	170
5.2.2. Multidimensional.....	172
5.2.3. Carácter prospectivo y coordinado.....	172
5.2.4. Carácter democrático.....	172
5.3. Instrumentos.....	173
5.3.1. Normas.....	173
5.3.2. Requerimientos.....	173
5.4. Bases para el diseño de un plan de ordenamiento territorial.....	174
5.5. Objetivos y estrategias para una política de ordenamiento territorial.....	176
5.5.1. Objetivos.....	176
5.5.2. Estrategias de Ordenamiento.....	177
5.5.3. Estrategias Económicas.....	177
5.5.4. Estrategias Sociales.....	178
5.5.5. Integración Funcional-Espacial	179
5.6. Desarrollo sostenido y conservación ambiental.....	180

5.7.	Ordenamiento territorial en el mundo y síntesis conceptual.....	181
5.8.	Ejemplos de sistemas de ordenamiento territorial en el mundo.....	183
5.9.	Sistema Alemán de Ordenamiento Territorial.....	183
5.9.1.	Antecedentes y características destacables del ordenamiento territorial.....	184
5.9.2.	Soporte jurídico y organización administrativa.....	185
5.9.3.	Instrumentos de gestión.....	188
5.10.	Sistema español de ordenamiento territorial.....	191
5.11.	El ordenamiento territorial en Guatemala.....	194
5.12.	Cualidades del OT en el mundo.....	198
5.13.	Problemas que conciernen al OT en el mundo.....	199
5.14.	Logros del OT en el mundo.....	200
5.15.	El plan de desarrollo metropolitano metrópolis 2010 y el plan de ordenamiento territorial del área metropolitana de Guatemala.....	200
5.16.	El Plan de Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana.....	207
5.17.	Zonificación.....	209
5.18.	Reglamento Único de construcción Urbana.....	210
	CONCLUSIONES.....	214
	RECOMENDACIONES.....	216
	BIBLIOGRAFÍA	217

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1. Fotografía aérea.....	3
2. Diagrama fotografía aérea vertical.....	4
3 Diagrama de fotografía aérea oblicua.....	6
4 Diagrama sistema trimetrogon.....	7
5. Geometría de fotografía aérea.....	8
6 Diagrama de cálculo de escala.....	10
7. Proyección ortogonal.....	12
8. Fotografía aérea Berkeley.....	13
9. Cámara aérea.....	15
10. Campo angular.....	17
11. Plan de vuelo sistemático.....	19
12 Efecto estereoscopico en relieve.....	24
13. Efecto pseudoscopia en relieve.....	25
14. Diagrama de estereoscopio.....	26
15. Estereoscopio.....	27
16. Ortofotomapas.....	35
17. Proyección ortográfica polar.....	49
18. Proyección ortográfica meridiana.....	50
19. Proyección cenital.....	50
20. Proyección estereográfica.....	52
21. Proyección estereográfica zenital.....	53
22. Proyección gnomónica o Central.....	54
23. Proyección gnomónica oblicua.....	55
24. Proyección cilíndrica.....	58
25. Proyección gnomónica o Central planta.....	58

26. Proyección cónica.....	59
27. Proyección cónica perfil.....	60
28. Meridiano.....	61
29. Ubicación coordenadas astronómicas.....	63
30. Figura y superficies de la tierra.....	91
31. Diagrama de geoide.....	92
32. Corrección de esfericidad.....	95
33. Corrección de refracción.....	99
34. Rayo de luz.....	101
35. Espejismo.....	101
36. Campo eléctrico.....	118
37. Ciclo de escaneo.....	128
38. Esquema de la ordenación de los datos en una imagen satelital.....	129
39. Imagen sin procesamiento, codificación en escala de grises.....	131
40. Imagen con mejora del contraste.....	136
41. Imagen con matriz de datos originales.....	137
42. Imagen contrastada y con paleta de colores.....	138
43. Esquema del suavizado de imagen.....	139
44. Esquema después de aplicado el suavizado.....	141
45. Esquema composite multiespectral en falso color.....	142
46. Esquema máscara binaria en la que la tierra aparece en negro y el agua en blanco.....	143
47. Esquema de la medición de altura por medio de un satélite.....	147
48. Distribución de las estaciones DORIS en el mundo.....	148
49. Interacción de un pulso de duración t con una superficie plana para un mar en calma una longitud del pulso (t_p), con un radio (r_a).....	149
50. Representación artística del topex/poseidón.....	153
51. Topografía del océano en el caribe, a partir de datos topex/poseidón.....	157
52. Variabilidad de la superficie del mar, a partir de datos topex/poseidón.....	159

53. Altura significativa de olas a partir de datos topex/poseidón.....	160
54. Velocidad del viento a partir de datos topex/poseidón.....	161
55. Variabilidad de eddy, a partir de datos topex/poseidón.....	164
56. Enfoques para la toma de desiciones.....	182

TABLAS

I. Comparativa de datos de un plan de vuelo.....	21
II. Corrección de esfericidad.....	98
III. Datos filtros por grilla de variancia de 3x3 píxeles.....	138

GLOSARIO

Geología	Ciencia que trata de la forma exterior e interior del globo terrestre; de la naturaleza de las materias que lo componen y de su formación; de los cambios o alteraciones que éstas han experimentado desde su origen y de la colocación que tienen en su actual estado.
Hipérbola	Curva cónica, que es el lugar geométrico de los puntos del plano cuya diferencia de distancias a dos puntos fijos, llamados focos, es constante en valor absoluto.
Fitoplancton	Conjunto de algas microscópicas que viven en la superficie de las aguas dulces y marinas, a las que pueden comunicar, si están en gran cantidad, un ligero tinte verdoso.
Scanner	Aparato tabulador para la exploración con el fin de obtener, gracias a exposiciones realizadas desde distintos ángulos, diferentes imágenes de una región.
Conurbado	Agrupación urbana con solución de continuidad, de varios núcleos de población.

RESUMEN

El siguiente trabajo titulado **guía teórica y práctica del curso de topografía 3**, es presentado como una guía de utilización para estudiantes y personas en general que tenga la necesidad de conocer conceptos empleados en topografía.

Este trabajo fue realizado en la ciudad de Guatemala, República de Guatemala, Facultad de Ingeniería en el Departamento de Topografía de la Universidad San Carlos de Guatemala. En el contiene el programa del curso de Topografía 3, desglosado en sus capítulos, además de tener temas de interés, como lo son: el desarrollo de la Imagen Satelital y el Ordenamiento territorial.

Por las características que presenta el curso dan el conocimiento como una herramienta para el futuro ingeniero, ya que, muchos de los conceptos necesarios para utilizarlos como una herramienta de diseño y creación de datos, para realizar trabajos de localización ubicación de lugares, en los cuales se harán obras de infraestructura, como, también, se presentan bases e historia de un ordenamiento territorial.

La metodología que se utilizó fue desarrollar los capítulos que se presentan en las cátedras del curso de Topografía 3, luego se desarrollaron los temas de Imagen Satelital y Ordenamiento Territorial que se investigaron en una forma sistemática, tomando normas utilizadas en el ordenamiento territorial de la ciudad de Guatemala, en el plan Metrópoli 2010, que se está estructurando en la actualidad.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una guía del curso de Topografía 3 que contenga teoría, ejemplos prácticos, criterios y lineamientos que se requieran para la solución de problemas en la vida profesional del estudiante.

Específicos

1. Especificar el uso de la fotogrametría, cartografía y geodesia en un ámbito profesional adaptado para nuestros días.
2. Desarrollar el tema de fotografía satelital como una herramienta en el desarrollo de proyectos de ingeniería.
3. Reunir la información necesaria para la comprensión, separada de los temas de topografía 3, que sin lugar a dudas están ligadas.
4. Que el estudiante sepa utilizar las nuevas herramientas de ingeniería civil, y que salga con un nivel de educación capaz de salvar los diferentes problemas que tenga que resolver.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo de graduación se expondrá una guía teórica y práctica del curso de Topografía 3, desarrollándose varios temas como Fotogrametría, Cartografía y Geodesia entre otros, los cuales son de suma importancia para la población en general y para los profesionales.

Uno de los puntos principales es que se aprenda a diferenciar los usos, como también saber enlazar los temas de importancia, pues, que por ejemplo la Fotogrametría está entrelazada con la Cartografía y la Cartografía con la Geodesia. En ello debemos tomar en cuenta que es una valiosa herramienta en la vida profesional, ya que, nos puede economizar tiempo.

La Fotogrametría es una ciencia o un arte de obtener medidas por medio de la fotografía, pasando de la proyección cónica del objeto fotografiado a la proyección ortogonal del plano, un ejemplo es que con ella logramos localizar terrenos además accidentes geográficos naturales de los mismos, los cuales tomamos en cuenta para la realización de un proyecto de gran escala, como puede ser una urbanización o medición general de un terreno.

Después de la Fotogrametría sigue la Cartografía que es el arte de elaborar mapas para representar, gráficamente una porción de terreno, la Cartografía es una valiosa herramienta, pues, elabora varias clases de mapas en los cuales se representan ríos, cordilleras, tipo de suelos existentes, profundidad del mar, cultivos, etc.

Luego de la Cartografía sigue la Geodesia la cual es una herramienta importante para la ingeniería, pues, se dedica a la localización y medición de terrenos de extensa magnitud, cada uno de los temas expuestos anteriormente son diferentes, pero no obstante están ligados y este trabajo de graduación pretende explicar cada uno de ellos y su importancia en la Ingeniería

Lo que se encontrará en el capítulo de Imagen Satelital es la evolución que se desarrolló de la fotografía a lo que conocemos como Imagen Satelital, además de los usos que se le dan a estos datos que nos proveen los satélites.

En el capítulo de Ordenamiento Territorial se describen cuáles son las normas que se utilizan en países desarrollados y en vías de desarrollo como Guatemala, para el mejor uso del espacio.

1. FOTOGRAMETRIA

“La Fotogrametría es la ciencia o arte de obtener medidas por medio de la fotografía, pasando de la proyección cónica del objeto fotografiado a la proyección ortogonal del plano mediante una operación fundamental que recibe el nombre de restitución.”¹

La fotogrametría es un instrumento que sirve para determinar la forma del objeto ya que lo podemos observar, también logramos determinar el tamaño si seguimos un proceso que nos ayude a calcular la escala apropiada, y la posición si ubicamos al objeto en lugares conocidos para nosotros.

La fotogrametría es una herramienta de medición indirecta, que es de mucha utilidad, ya que nos apoyamos en imágenes que por cualquier inconveniente no podamos estar en el lugar del objeto. La fotogrametría esencialmente se clasifica en dos categorías: Fotogrametría Terrestre y Fotogrametría Aérea.

¹ Dante Alcántara García
TOPOGRAFIA
3ra edición 1,998
Editorial Mc Graw Hill
México D.F.
Pagina 453

1.1. Fotogrametría terrestre.

Este tipo de fotografía es usado tanto en topografía superficial como subterránea, como también es usado en restauración de edificios, casas y demás, ya que este proceso se le toma una fotografía al edificio que se está restaurando y luego se hacen bosquejos de cómo pudo haber sido y como va a quedar restaurado.

Las fotografías se pueden trabajar conjuntamente con equipos topográficos ya que en algunas ocasiones la cámara forma parte del teodolito, de modo que el eje principal de la cámara es el mismo que el del teodolito, con lo cual se puede tomar una serie de fotografías junto con mediciones topográficas.

Con respecto a la fotografía subterránea es una herramienta, ya que nos puede servir para el cálculo de áreas de trabajo, como consecuencia calcular volúmenes de material que tengamos que extraer de una obra en particular, por ejemplo para calcular volúmenes en el movimiento de tierra que se hacen al construir túneles para la explotación de minerales o tramos carreteros túneles, minas, etc..

1.2. Fotogrametría aérea

La Fotogrametría Aérea es un proceso que es esencialmente tomar una serie de fotografías, con interés en el área que se está fotografiando, más que todo es la representación más compleja y completa que revela información de la superficie terrestre en estudio.

Estas fotografías nos instruyen sobre el terreno (ver figura 1), revelando accidentes geográficos importantes como lo son volcanes, valles, ríos, cuencas, como también las estructuras construidas por el hombre.

Este tipo de fotografía tiene diversos usos tales como: Levantamientos topográficos, planeación de urbanizaciones, cálculos de áreas que colaboran en una cuenca, estudios de drenajes, planificación y diseño de carreteras, ubicación de ríos, líneas férreas, líneas de conducción de energía eléctrica, investigación y estudio de cultivos, planificación urbana y geológica entre tantos usos.

Figura 1. **Fotografía aérea**



El uso de este tipo de información es cada vez mas usado, dado que es de gran ayuda en el trabajo de campo, ya que se logra ver el área en estudio así evaluar si un proyecto en cuestión es conveniente.

El proceso de fotografías aéreas es un proceso que consiste en tomar fotografías desde un avión, en el cual se a colocado previamente una cámara, esta cámara toma fotos individuales de un área determinada, en las cuales se logra tomas varios tipos de fotografías que veremos mas adelante como: verticales, oblicuas, todo esto con un plan de vuelo predeterminado, que es establecido ya sea por condiciones del terreno como condiciones climáticas.

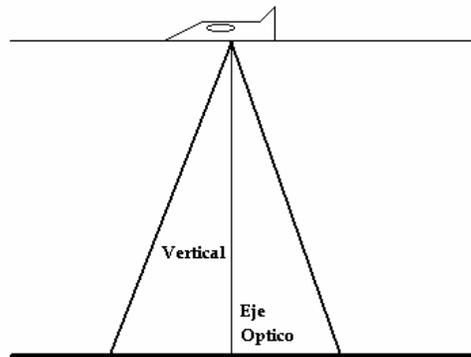
1.2.1. Fotografía aérea vertical

La fotografía aérea vertical es cuando el eje vertical coincide con el eje óptico de la cámara del lugar que esta estudiando (ver figura 2. La escala es un elemento importante en el reconocimiento de las características físicas del terreno, ya que con ello se puede tener una razón de las dimensiones del terreno, también ayuda en plan de vuelo, porque determina cuantas fotografías se deben de tomar para cubrir un área determinada.

En las fotografías aéreas verticales obtenemos datos que utilizamos para estudios planimétricos y altimétricos de una zona de estudio, como también en la foto-geología, a una escala topográfica, El eje óptico puede varias de 0° hasta 2° con respecto a la vertical debido al cabeceo lateral o alabeo del avión al momento de tomar la fotografía, pero dado condiciones óptimas, ya que debido al clima o ya sea por el tipo de aparatos que se estén usando.

Aunque actualmente la eficiencia de las cámaras modernas, como de técnicas de fotografía nos permiten el uso de ellas para la construcción y la planeación de innumerables proyectos, pero como no siempre vamos a tener condiciones favorables la fotografía sufre alteraciones que afectan la imagen pero que son corregidas en un proceso llamado restitución que veremos mas adelante.

Figura 2. **Diagrama fotografía aérea vertical**

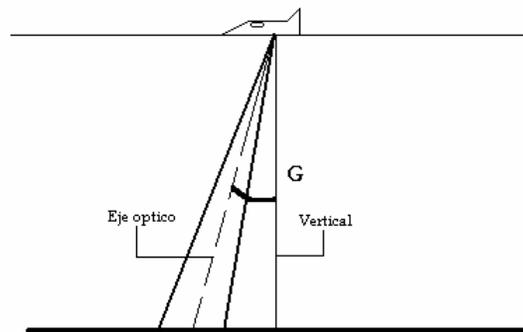


Los criterios mas empleados para la clasificación de fotografías aéreas de basan en el campo angular de la cámara y en la inclinación del eje de la cámara, con ello tenemos otra de las clasificaciones de ella como lo son la fotografías oblicuas.

1.2.2. Fotografía aérea oblicua

En algunas ocasiones las condiciones atmosféricas no permiten tomar fotografías con el eje de la cámara en una posición vertical, por lo que no es posible tomar fotografías aéreas completamente verticales, cuando se toman este tipo de fotografías se realizan con cierto ángulo con respecto a la vertical del vuelo, este ángulo es mayor de 4.5° se consideran que son fotografías aéreas oblicuas (ver figura 3).

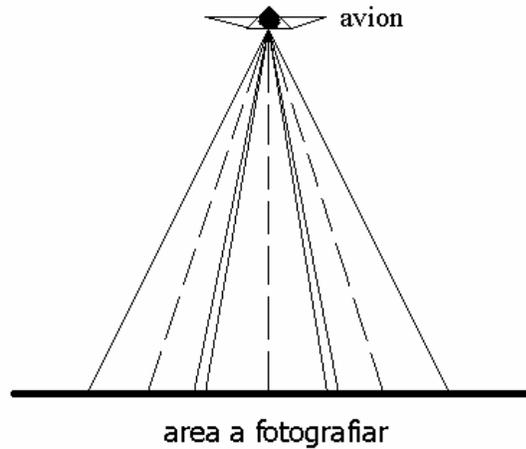
Figura 3. Diagrama de fotografía aérea oblicua



Dentro de las fotografías aéreas oblicuas, están la fotografía aérea oblicua baja, esta fotografía es la que tiene su ángulo “G” con respecto a la vertical esta comprendido entre 10° a 30° .

Entendemos como *fotografía aérea oblicua alta o panorámica* a la que el ángulo respecto a la vertical permite fotografiar el horizonte, y existe un tipo de fotografía que combina una fotografía vertical con dos oblicuas altas que recibe el nombre de Trimetrogón (ver figura 4), este tipo de fotografía es muy útil ya que logramos fotografiar una gran extensa área de terreno.

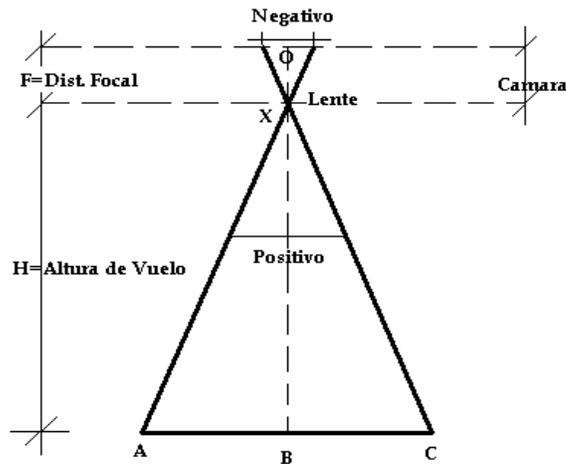
Figura 4. Diagrama sistema trimetrogon.



1.2.3. Principios geométricos de la fotografía aérea.

La geometría de una fotografía aérea es relativamente sencilla como lo muestra la figura 5, en ella logramos localizar de A a C el área que vamos a fotografiar en B es el punto principal de la fotografía. El punto principal B esta en la base perpendicular de X que se encuentra en la intersección de las líneas que unen A y C que son los límites de la fotografía, La distancia de X a O se conoce ya que es la distancia focal de cámara, que depende del tipo de cara que se este usando.

Figura 5. Geometría de fotografía aérea.



1.2.4. Escala de una fotografía aérea.

La escala es un parte esencial para el reconocimiento de las características particulares del terreno, porque al observar las fotografías, estas deben tener el detalle necesario para las necesidades del proyecto en que se este trabajando, entonces se tomaran las fotografías necesarias con las dimensiones de un detalle en la fotografía y la medida en el terreno.

También el numero de fotografías que se necesitan para cubrir un área de terreno determinada, además del tipo de cámara que se este usando.

Para encontrar la escala de una fotografía se usa la siguiente relación de triángulos vista en la figura 1.4, $1/E = f/H = \text{escala de la fotografía}$, siendo i el tamaño de la imagen obtenida, y o el objeto fotografiado. Sucede que, para hallar la escala media de una fotografía, basta dividir la distancia focal por la altura de vuelo.

Por lo tanto:

- Cuando la altura de vuelo aumenta, la escala de la fotografía aumenta.
- Cuando la distancia focal aumenta, la escala de la fotografía disminuye.

Es decir, al aumentar la altura de vuelo, los detalles se reducen, pero la escala aumenta, La distancia focal y la altura de un vuelo están relacionadas, y se usan para el tipo de escala que se quiere trabajar y al hallar la escala de una fotografía tenemos que tener en cuenta algunos aspectos muy importantes:

- a. El altímetro que viene fotografiado al margen de la fotografía nos da una altura de la cámara sobre el nivel del mar, mientras que la que nos interesa es la que existe en realidad sobre el terreno. En este caso habrá que restar a la lectura del altímetro la altitud media del terreno, que podemos saber de antemano, porque se planea volar a cierta altura dependiendo de los requerimientos del proyecto en que se este trabajando y esta altura se mantendrá durante todo el proceso fotográfico, o bien la hallamos en un mapa, con las siguientes ecuaciones.

$$1 / E = f / H - H_m = 1 / E = f / H_o.$$

De la ecuación anterior tenemos:

f = distancia focal de la lente.

H = altura de vuelo medida en el altímetro.

H_m = altura media del terreno.

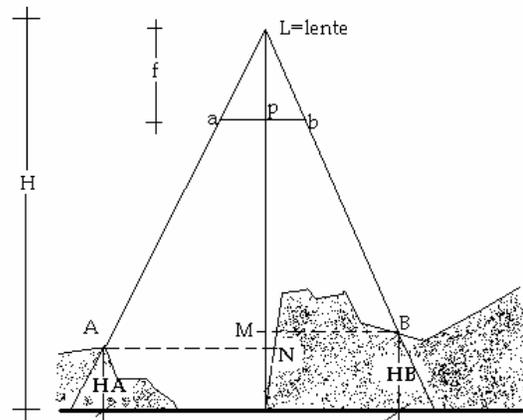
H_o = altura de vuelo sobre el terreno.

1/E = escala de la fotografía.

- b. Hay que tener cuidado con las dimensiones, ya que existe una contradicción de las mismas respecto al altímetro y la distancia focal, porque la distancia focal viene en mm. Y el altímetro suele venir en pies o metros.
- c. Los cálculos anteriores son válidos cuando el tamaño de la fotografía empleada es el mismo que del negativo obtenido en el vuelo. También que los cálculos de la escala solo se puede ser usada en una zona sin cambios de relieve, debido a que hay cambios de altura.

Cuando se quiere encontrar la escala para cualquier punto o un punto específico, por un ejemplo de escala en el punto A, B y escala media. (ver figura 6).

figura 6. **Diagrama de calculo de escala.**



haciendo relación de triángulos tenemos que:

$$\text{Escala} = E = f / H$$

$(ap) / (AN) = (LP) / (LN) =$ Es la escala para el punto A

Esto es:

$$(ap) / (AN) = (LP) / (LN) = f / (H - HA) = \text{Escala en A.}$$

Para encontrar la escala en B, también tenemos:

$$(LP) / (LN) = (bp) / (BM) = f / (H - HB) = \text{Escala en B.}$$

Para encontrar la altura media H_m

$$H_m = (HA + HB + \dots + HA_n) / n \text{ alturas}$$

Teniendo finalmente:

$$\text{Escala media} = E_m = f / (H - H_m) = 1 / E_m$$

$$E_m = (1 / f) / (H - H_m).$$

calculo de escala (ejemplo)

Encontrar la escala de la fotografía aérea vertical, teniendo los siguientes datos: El avión vuela a una altura de 4,000 mts, con una altura de terreno de 1,500 mts y una distancia focal de cámara es de $f = 152 \text{ mm}$.

$$E = f / (H - h) = 0.152 / (4,000 - 1,500)$$

$$E = 0000608 = 1 / 16,447.37$$

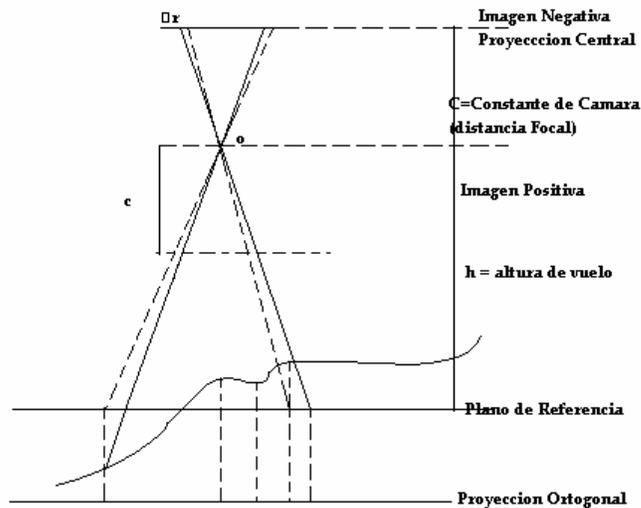
$$E = 1: 16,447.37 = 1:16,000$$

1.2.5. Proyección central y proyección ortogonal.

La imagen un área de la superficie terrestre, obtenida en la fotografía, es una proyección central (ver figura 7), en síntesis, los rayos de luz que provienen de la superficie terrestre, en su camino hacia el plano de la imagen, pasan a través de un solo punto, que es el centro de la proyección del objetivo de la cámara.

Sin embargo, en la mayoría de proyectos se necesita información gráfica del terreno en forma de una proyección ortogonal, ya que en ella lograremos encontrar información adicional como nombres de ciudades, curvas de nivel y cuadrícula, o sea es una representación de los elementos del terreno y son proyectados a una cierta escala, por rayos perpendiculares al plano de referencia. Este plano puede ser horizontal o paralelo a una superficie de referencia dada.

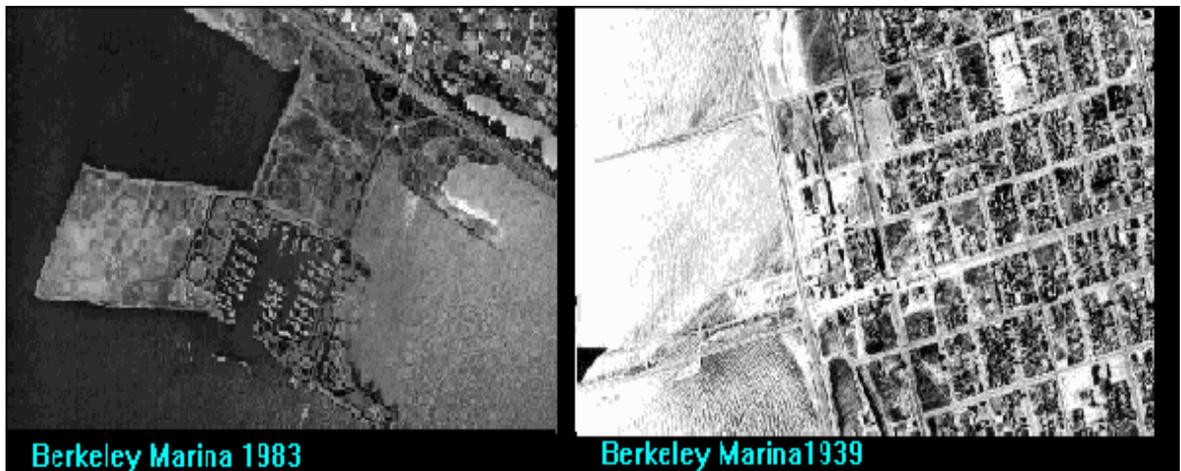
figura 7. Proyección ortogonal.



1.2.6 Formatos usados en la fotografía aérea.

Generalmente se utiliza película pancromática, y el tipo de formatos mas usados en la fotogrametría Aérea de colores y blanco y negro son los de 23x23 cm. (9"x9"), 18x18 cm. (7"x7") (ver figura 8), en la mayoría de sus casos debido a sus adaptabilidad general y bajo costo. Para fotogrametría Terrestre las dimensiones de los formatos mas usados son de: 9x12, de 10x15 y de 13x18 cm. especialmente.

figura 8. **Fotografía aérea Berkeley.**



Los materiales de la fotografía constan de una base, en este tipo la emulsión es una capa haloide de cristales de plata en forma de gelatina, la cual es sensitiva a la luz, que capta la imagen.

1.2.7. Fotografía aérea de colores y blanco y negro

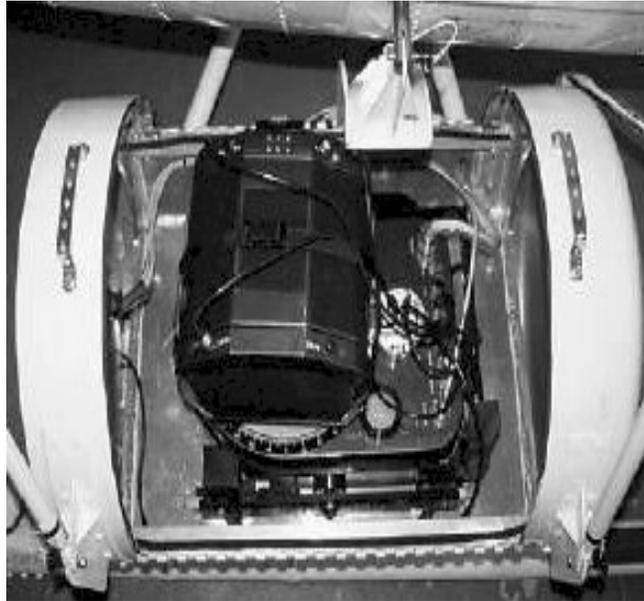
Los estudios que se hacen con película de color para cualquier aplicación, ofrecen una serie de ventajas sobre la de blanco y negro ya que en ella se identifican con mayor facilidad los objetos además que son útiles para la foto-interpretación, el color favorece puesto que podemos indicar la naturaleza del terreno.

El equipo de fotografía blanco y negro ofrece una ventaja sobre la de color, porque permite usar un filtro amarillo para mitigar los efectos de la bruma o neblina, los cuales son efectos que se encuentran diversas ocasiones.

1.3. Cámaras de fotografía aérea.

Las cámaras son el instrumento que reúne la información fundamental (ver figura 9), que es necesaria para el proceso posterior de la toma de fotografías que es la fotogrametría y fotointerpretación de las mismas. Dado que la información es de suma importancia la calidad de la imagen debe ser lograda con optima calidad tanto cualitativamente como cuantitativamente.

figura. 9. **Cámara aérea.**



Este tipo de cámaras están diseñadas específicamente para tomar fotografías desde el aire, en cualquier artefacto que logre superar la gravedad, como lo pueden ser aviones, helicópteros, globos, vehículos espaciales.

Su funcionamiento es exactamente igual a la de una cámara terrestre pero los requisitos son diferentes ya que la orientación es conocida e inalterable y por el obturador central en el plano focal. Además que este tipo de cámaras se mueve durante la exposición, dentro de los elementos que contiene una fotografía aérea tenemos:

- Marcas fiduciales (definen el formato de la fotografía) .
- Número de fotografía, línea y rollo.
- Escala aproximada.
- Fecha de toma.
- Institución encargada de realizar el vuelo

- Lugar donde se realizó la toma
- Altimetro, nivel de burbuja y reloj.

En las cámaras fotogramétricas sus componentes principales son el cono de lentes, unidad de manejo, telescopio de foto navegación y unidad de control. La montura de las cámaras en el avión esta formada generalmente, por una placa base y una caja montada cardánicamente y con aislador antivibracional. La unidad de manejo contiene los mecanismos para controlar el avance de la película y aplanarla nuevamente contra el plato de precisión durante la exposición.

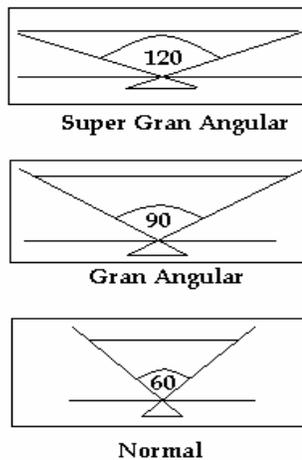
Dentro de la unidad de control se inserta un telescopio de foto navegación con lo que se pueden ver dos retículas: una muestra el cubrimiento del terreno y la otra mueve las líneas de referencia, las retículas están sincronizadas con la velocidad de la imagen del terreno que controla la sobre posición. Todos los elementos esenciales para la operación de las cámaras están contenidos en la unidad de control, esto es el interruptor principal, selector de diafragma, obturados de velocidad y selector de sobre posición.

Los criterios mas empleados para la clasificación de las cámaras aéreas, se basan en el campo angular de la cámara (ver figura 10), de acuerdo con esto se distinguen tres clases:

- a. Cámaras Normales: son aquellas en las que su campo angular de imagen es de 60° , están cámaras tienen aplicaciones diversas entre las que se incluye levantamientos de precisión, tales como los de catastro rural y urbano, planos de construcción.

- b. Cámaras Gran Angular: este tipo de cámaras tiene su campo angular de imagen es de 90° , igual que las anteriores tienen diversas aplicaciones como lo son: cualquier trabajo de ingeniería basado en mapas topográficos a escalas que se requieran.
- c. Cámaras Súper Gran angular: son aquellas cámaras que tienen un campo angular del orden de 120° este tipo de lentes están diseñados para trabajos aplicados a cartografía a pequeña escala y tienen una mayor cobertura del terreno que las lentes gran angular a una determinada altura de vuelo.

figura. 10. **Campo angular**



La distancia focal varía por el tipo de cámara ya que hay de 15 cm. de distancia focal hasta 30 cm.

Teniendo definido el área de interés para un levantamiento fotogramétrico, nos queda diseñar un plan de vuelo.

1.4. Plan de vuelo.

Las condiciones favorables para los levantamientos fotogramétricos se presentan en épocas de verano en las cuales la densidad de las nubes es baja, los días soleados y sobre todo la vegetación es menor, lo que impide fotografiar detalles propios del terreno como sucedería en época de invierno.

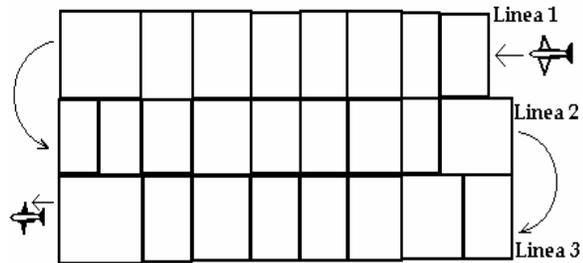
Uno de los elementos necesarios en la fotogrametría es el diseño de un plan de vuelo óptimo, para la toma de fotografías, este plan de vuelo debe de tomar las fotografías en forma sistemática tomando en cuenta la franja de terreno que se requiera fotografiar, realizando líneas de vuelo, el numero de líneas que sea necesario para cubrir toda el área.

Generalmente las líneas de vuelo van de norte a sur, si no hay condiciones especiales que requieran que la orientación del plan de vuelo se dirija en otra dirección. La orientación del plan de vuelo radica en un buen método de orientación que el piloto sabrá por experiencia, esto evitara que se tomen fotografías que no son de interés o zonas que no se seleccionaron.

En algunas ocasiones se planean una dirección este-oeste para guardar el paralelismo con las mayores variaciones del suelo, ya que los que van paralelos a la dirección del contorno dan por resultado una escala mas uniforme en todas las exposiciones.

Respecto a la toma de fotografías en el vuelo se debe tener precaución en el momento de fotografiar, el eje de la cámara debe estar dentro de un grado o dos con respecto a la vertical y se debe mantener la altura de vuelo predeterminada. Como también la orientación de la cámara ser correcta en relaciona a la dirección de la aeronave.

figura 11. **Plan de vuelo sistemático.**



Se obtendrán mejores resultados teniendo un diseño de plan de vuelo y estudiando el área de terreno en donde se realizarán las fotografías y realizando un vuelo según lo planeado (ver figura 11) según las condiciones climáticas lo permitan. El numero de fotografías se toman a lo largo de una línea de vuelo que cubre una franja de terreno, haciendo tantas líneas que se cubre toda el área solicitada.

1.4.1. Traslape.

Las fotografías aéreas en un plan de vuelo se toman con un intervalo de tiempo que dan por resultado un traslape longitudinal, este traslape longitudinal tiene entre un 55 a 60%, esto quiere decir por ejemplo que se este tomando una fotografía en este momento se tomara un 55-60% de la anterior y un 55-60% de la siguiente.

Esto se realiza para una tener una cobertura sistemática que es la adecuada para la vista estereoscópica de cualquier punto, el traslape esta intrínsecamente relacionado con el costo porque con un mayor traslape necesario, aumente el requisito del número de exposiciones y por lo tanto aumento de costo y un traslape inferior al promedio aumente la posibilidad de lagunas estereoscópicas, que causan una mala visión estereoscópica.

Tanto existe traslape longitudinal como adyacente, este traslape lateral esta en un promedio de 15% a 25% entre bandas o líneas de vuelo, entiéndase que cada fotografía tiene de 15% a 25% de la anterior y de la siguiente.

1.4.2. Calculo de plan de vuelo.

Al diseñar un plan de vuelo la persona encargada de diseñarlo tiene que tomar en cuenta con que traslape se van a tomar las fotografías, traslape lateral como traslape longitudinal distancia focal, la altura del terreno y que tipo de película se va a usar como lo veremos mas adelante, pero estas decisiones con experiencia son mas fáciles de realizar.

Ejemplo:

Tenemos una área a fotografiar de 10 kilómetros por 15 kilómetros, se diseño un plan de vuelo con una traslape longitudinal de $60\% \pm 5\%$ y un traslape lateral de $20\% \pm 5\%$, la altura del terreno es de $h = 1,500$ MSNM, con una cámara gran angular (G.A).

Solución:

$$\text{Escala} = \frac{f}{H - h}$$

F = Distancia Focal

H = Altura SNM (avión)

H = Altura promedio del avión

$$\frac{1}{10,000} = \frac{0.125}{H - 1,500}$$

$$H = 3,020 \text{ MSNM}$$

Tabla I. **Comparativa de datos de un plan de vuelo.**

	Traslape longitudinal	Avance Longitudinal	Traslape Lateral	Avance Lateral	Margen
%	60	40	20	810	30
Cm	13.8	9.2	4.6	18.4	6.9
Km	1.38	0.92	0.46	1.84	0.69

Cálculo de número de fotografías:

$$\# \text{ de fotos} = \frac{\text{longitud máxima del terreno}}{\text{avance longitudinal}} + 5$$

$$\# \text{ fotos} = \frac{5 \text{ Km.}}{0.92} + 5$$

$$\# \text{ fotos} = 22 \text{ fotos}$$

Cálculo de número de líneas de vuelo:

$$\# \text{ líneas de vuelo} = \frac{\text{ancho} + 2 (\text{margen})}{\text{avance lateral}}$$

$$\# \text{ líneas de vuelo} = \frac{10 + 2(0.69)}{1.84}$$

delneas de vuelo = 6.18 tenemos dos opciones 6 o 7, tomamos 6 y realizamos una prueba para saber si logramos tomar la longitud de 20 Km.

Prueba:

$$\# \text{ líneas de vuelo} = \frac{\text{ancho} + 2 (\text{margen})}{\text{avance lateral}}$$

$$\text{avance lateral} = \frac{\text{ancho} + 2 \text{ margen}}{\text{líneas de vuelo}}$$

$$\text{avance lateral} = \frac{10 + 2(0.69)}{6}$$

$$\text{avance lateral} = 1.89$$

1.84	-----	80 %	x = 82.17 %
1.89	-----	x	100 - 82.17 = 17.53 %

margen de error = ± 5%

15 % - 20 % - 25 %

17.53%

Entonces tomamos 7.

Prueba:

$$\# \text{ líneas de vuelo} = \frac{\text{ancho} + 2 (\text{margen})}{\text{avance lateral}}$$

$$\text{avance lateral} = \frac{\text{ancho} + 2 \text{ margen}}{\text{líneas de vuelo}}$$

$$\text{avance lateral} = \frac{10 + 2(0.69)}{7}$$

$$\text{avance lateral} = 1.63$$

$$1.84 \text{ ----- } 80 \%$$

$$1.63 \text{ ----- } x \quad x = 70.68 \%$$

$$100 - 70.68 = 29.31 \%$$

$$\begin{aligned} \# \text{ total de fotos} &= \# \text{ de líneas de vuelo} \times \text{fotos} \\ &= 6 \times 22 \\ &= 132 \text{ fotos} \end{aligned}$$

tiempo entre cada foto:

$$\text{velocidad} = \text{espacio} / \text{tiempo}$$

$$\text{velocidad} = 240 \text{ Km./h}$$

$$\text{tiempo} = \text{espacio} / \text{velocidad}$$

$$\text{tiempo} = 0.92 \text{ Km.} / 240 \text{ Km./h}$$

$$\text{tiempo} = 3.83 \times 10^{-3} \text{ horas.}$$

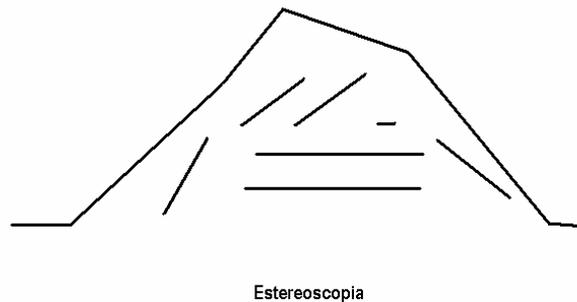
$$\text{tiempo} = 13.8 \text{ segundos entre cada fotografía.}$$

1.5. Estereoscopia.

La estereoscopia es la facultad de ver objetos tridimensionalmente un objeto lo que permite apreciar el largo, el ancho y la profundidad del objeto que se esta viendo (ver figura 12) Esta visión tridimensional se logra en la vida real por la visión simultanea de los objetos desde distinto ángulo, el correspondiente a cada ojo y su coordinación mental.

Gracias a esta doble visión, podemos apreciar las distancias, espesores, profundidades, etc., es decir todas aquellas magnitudes tridimensionales de los objetos. En el caso de que la visión se efectúa a través de un solo ojo, este sentido de dimensión habrá desaparecido.

Figura. 12. **Efecto estereoscopico en relieve.**



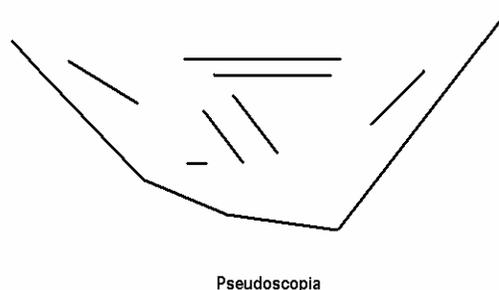
Esta visión se logra con dos fotografías de un mismo terreno, tomadas desde distinto ángulo como se ha dicho anteriormente que existe un traslape, así pues, desde dos puntos de vista diferentes se hacen dos exposiciones del mismo objeto, de esta manera observando alternadamente con uno y otro ojo un objeto, se produce una pequeña diferencia de la imagen que recibe el nombre de paralaje.

Cuando las visuales coinciden en un punto forman un ángulo llamado ángulo de intersección paraláctico.

Para apreciar el efecto tridimensional es necesario usar ciertos instrumentos que nos dan la estereoscopia artificial con los requisitos siguientes:

- Tener dos fotografías del objeto que se esta estudiando.
- Deben ser de una escala igual o muy proxima, es decir, si hay grandes desniveles de terreno o ha variado la altura del avión, la visión se dificulta pudiendo llegar a impedirse.
- Cada ojo debe mirar el mismo objeto en las dos fotos
- El traslape longitudinal de las fotografías debe ser de un 60% del terreno fotografiado, que es el optimó.
- La verticalidad de la cámara en el momento de la exposición debe ser menos del 2%
- Que la dos fotografías tengan la misma posición relativa al momento en que fueron tomadas en el momento que fueron tomadas en el espacio, produciéndose el efecto ortoscòpico, se invirtieran se produciría una falsa estereoscopia produciéndose un efecto pseudos copio (ver figura 13).

figura. 13. **Efecto pseudoscopia en relieve**



1.5.1. Clases de estereoscopios

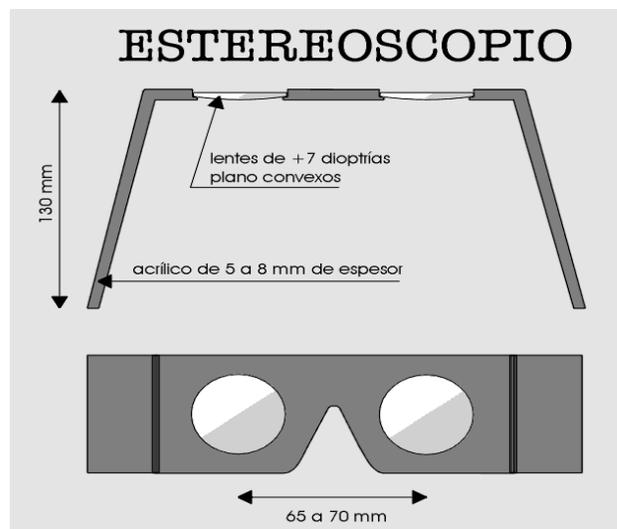
Existen varios tipos de estereoscopios, la diferencia entre cada uno de ellos es el método óptico usado para evitar que las líneas de visión converjan en el plano o punto focal.

Las clases básicas son:

- De prisma
- De lente
- De reflejo o espejo
- Combinación de estos.

Los lentes debido a que cada persona es diferente, deben ser ajustados a la distancia interpupilar entre los ojos de cada persona (ver figura 14).

figura. 14. Diagrama de estereoscopio



1.5.2. Percepción de la Profundidad.

Algunas formas de topografía difíciles de interpretar en una sola fotografía, pueden verse de inmediato observando los estereoscopios. Muchos objetos difíciles de identificar en una sola fotografía, pueden ser fácilmente reconocibles con pares estereoscopios; los objetos bien claros en una sola fotografía pueden observarse en mayor detalle (ver figura 15).

figura. 15. **Estereoscopio.**



Todo lo que revela por su forma y aún por pequeñas diferencias de tono generalmente puede identificarse con mayor certeza. Con la ayuda de la percepción de la profundidad, se pueden distinguir montañas escabrosas y afeas con pendientes, colinas, áreas planas y onduladas, con experiencia se puede diferenciar y trabajar fácilmente estos trabajos, una gran ayuda es comparar la topografía (curvas de nivel) como aparece en los pares con su apariencia en el sitio.

1.6. Fotocontrol.

Luego de haber tomado las fotografías estas deben examinarse, perfeccionarse y corregirse para que los modelos digitales a generar sean confiables, el procedimiento necesario para esto se conocen como fotocontrol y restitución fotogramétrica.

El fotocontrol es el procedimiento por medio del cual se seleccionan puntos en las fotografías claramente identificables en el terreno de los cuales se pueden obtener las coordenadas terrestres, al redundar en los puntos aumenta la precisión de los modelos digitales que se generan.

Las tareas fotogramétricas se limitaban a la generación de planos con fines cartográficos; sin embargo, actualmente debido a la existencia de mapas a diferentes escalas de una región y el desarrollo y mejora de la técnicas fotogramétricas, estas se emplean con éxito en la generación de los planos con fines topográficos.

1.7. Restitución fotogrametrica.

La restitución fotogramétrica sirve en la topografía para obtener planos y analizarlos con mayor detalle es muy útil servirse de un estereoscopio, los usos mas importantes son el uso de fotogramas métricos para la medición de objetos y su posición en el espacio, la aplicación mas común, de hecho se le a dado en la cartografía diversas escalas a los mapas.

También se ha usado en levantamientos topográficos como en la arqueología al buscar objetos, arquitectura, instituciones forestales como hidráulicas, tiene y se le puede dar diversos usos.

La restitución fotogramétrica en síntesis es la utilización de dos fotogramas consecutivos, que observados simultáneamente, con dispositivos ópticos que son esenciales, permiten ver un modelo tridimensional y virtual del objeto fotografiado.

Tales dispositivos se denominan como lo dijimos anteriormente estereoscopios y su función es llevar a cada ojo del observador una imagen de las dos que se están observando. Dado que cada ojo esta observando un fotograma diferente, la perspectiva del objeto es diferente, durante la observación el cerebro humano las funde en un modelo tridimensional o virtual.

Debido a que la fotografía aérea es una representación en perspectiva del terreno, la restitución fotogramétrica consiste pues en transformar la imagen en la perspectiva de una representación ortogonal, para dar una muestra de cómo es el terreno en la realidad.

1.7.1. Aparatos y métodos para restitución fotogramétrica.

Los métodos de restitución fotogramétrica son esencialmente:

- I. Restitución de modelos estereoscópicos
- II. Rectificación o enderezamientos fotogramétricos.

Estos métodos han llevado que la tecnología avance y sea mas fácil realizarlos. De modo que así se desarrollan dispositivos para el aprovechamiento de los fotogramas en forma aislada. Esto es para corregir la imagen por la inclinación del eje de toma. El producto logrado, es un nuevo fotograma tal cual se hubiese obtenido con el eje de toma exactamente vertical. Los instrumentos que permiten esta corrección se denominan rectificadores o enderezadores fotogramétricos. El uso de estos aparatos esta limitado a terrenos llanos o con poco relieve.

Cuando la superficie del levantamiento aéreo es mayor de la que cubre un fotograma, se procede a la rectificación de varios fotogramas y luego se forma un mosaico, uniéndolos cuidadosamente.

El aprovechamiento métrico de los pares fotográficos se realiza en instrumentos denominados restituidores fotogramétricos, cuya función es convertir a la proyección central de las imágenes, en una proyección ortogonal del objeto. En términos generales, estos instrumentos permiten reconstruir un modelo del objeto fotografiado, con capacidad de medir coordenadas espaciales del mismo.

Estos restituidores se desarrollaron, según la tecnología del momento, que inicialmente fueron aparatos análogos, concebidos bajo principios de proyección ópticos, ópticos mecánicos o mecánicos que permiten observar estereoscópicamente el objeto, medirlo y representarlos en forma grafica o por coordenadas puntuales de su superficie.

Construirlos con alta calidad mecánica, se caracterizaron por su orden de precisión de 1º, 2º, 3º orden. Así los aparatos de 1º orden dan las mayores precisiones y se utilizan, principalmente, en tareas de aéreo triangulación fotogramétrica. Los de 2º son utilizados en tareas de restitución fotogramétrica. Los aparatos de 3º orden son empleados en trabajos de menor precisión o levantamientos expeditivos.

Los avances tecnológicos en el campo de la electrónica, de la década del 60, introdujeron dispositivos electrónicos para el registro automático de coordenadas durante la restitución. Inicialmente los datos salían como listas en impresiones. Mejoras posteriores y el uso masivo del ordenador permitieron que los datos fueran controlados por un software específico desde el momento de la captura hasta el proceso del producto final, el mapa.

A fines de los años 70, aparecieron los primeros restituidores fotogramétricos analíticos, cuya base de funcionamiento es un estereocomparador óptico-mecánico, de alta precisión, comandado en sus funciones por un ordenador realimentando con los datos de la medición. En este sistema, la transformación de la proyección central a la proyección ortogonal es controlada por el ordenador, quien se encarga, además de mantener las condiciones para la observación estereoscópica del modelo.

Con estos sistemas se automatizaron las operaciones de rutina, tales como la formación del modelo estereoscópico y la georeferencia del mismo, estos sistemas están acompañados, por procesos cartográficos también automatizados.

En la actualidad, se esta expandiendo el uso de la tecnología de la imagen digital son soluciones verdaderamente sorprendentes, en cuanto al desarrollo de automatismos para la explotación del par fotográfico y la generación de modelos digitales del terreno, esto involucra el levantamiento aéreo preliminar con el uso novedoso de fotogrametría digital que se basa en procedimientos similares empleados en la fotogrametría tradicional.

1.8. Productos fotogramétricos.

1.8.1. Mosaicos.

Un mosaico fotográfico es el conjunto de fotografías, dispuestas ordenadamente en forma consecutiva en el sentido del vuelo fotográfico. Existen varios tipos de mosaico entre los cuales están:

1.8.1.1. Mosaico Índice.

Este tipo de mosaico consiste en el acomodamiento provisional de las fotografías de contacto, superponiendo los detalles comunes, con objeto de elaborar un esquema o registro numérico de fotogramas de la región levantada. Con el cual se podrá planear el apoyo terrestre, para la comodidad en el manejo de un mosaico, del sentido original se hacen reproducciones fotográficas a escalas pequeñas, estas fotografías llevan el nombre de fotomosaicos.

1.8.1.2. Mosaico de Contacto o Semicontrolado.

En este tipo de mosaico se usan fotografías de contacto y después de sobreponerlas adecuadamente, se recortan y se unen las zonas centrales, pegándose sobre un tablero, este mosaico resulta ser mas preciso que el mosaico índice.

1.8.1.3. Mosaico Rectificado.

Este mosaico se forma con las fotografías rectificadas, basadas en los puntos de apoyo terrestre (puntos de inicio donde se toman las fotografías) y un aparato llamado rectificador de imágenes, compuesto de un tablero y un proyector, también se le conoce como foto plano pues en la escala en que se elaboran corresponde a la de los planos, el foto plano o mosaico rectificado se elabora sobre tableros especiales, y cuando el área levantada es grande, se reparte en varios tableros, por medio de una pequeña zona de traslape entre ellos, y es posible integrar el conjunto.

1.8.2. Mapas.

Estos tipos de productos se generan con ayuda de aparatos llamados restituidores mecánicos. Al lado del restituidor y ligado al mismo, se encuentra la mesa de dibujo. Los movimientos X y Y del restituidor se transmiten por medio de una caja de engranajes a un lápiz, el cual corre la mesa de dibujo. Esta caja de engranajes permite el cambio de escala entre el modelo y el mapa.

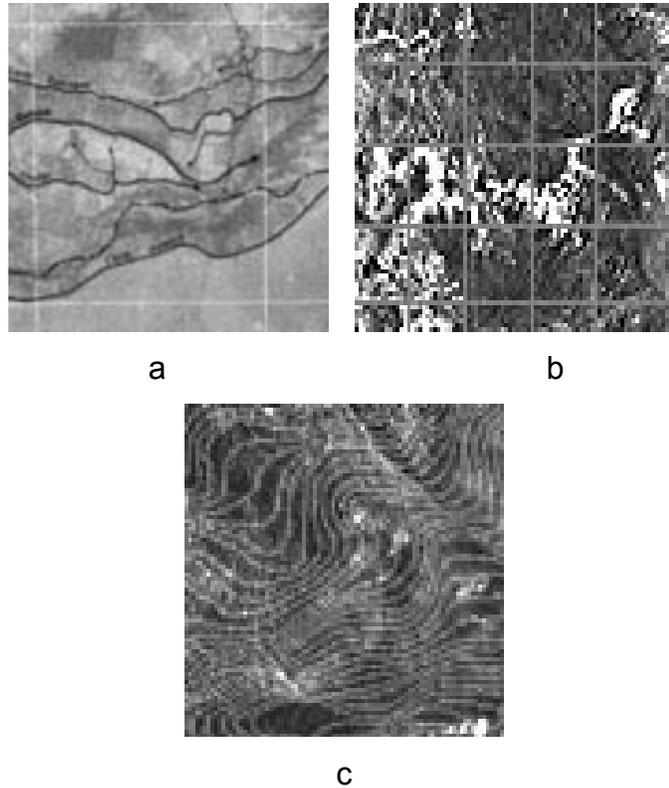
Para dibujar los detalles planimétricos, el operador guía la marca flotante a lo largo de las líneas de los detalles, por ejemplo límites de propiedad, ejes de caminos, etc., usando los movimientos X y Y, mientras que al mismo tiempo mantienen la marca flotante sobre la superficie del modelo con la operación del movimiento Z. El lápiz de dibujo traza los movimientos X y Y de tal forma que siempre parezca reposar sobre el terreno. Los movimientos X y Y se transmiten de la maquina al dibujo, y como consecuencia se trazan las curvas de nivel.

La altura de la marca flotante se va ajustando por una cantidad equivalente al intervalo entre curvas de nivel a la escala del modelo y así se pueden trazar las siguientes curvas. Cabe mencionar que actualmente se están digitalizando por el Instituto Geográfico Nacional la mayoría de mapas.

1.8.3. Ortofotomapas.

Un ortofotomapa es un producto fotográfico en el cual las distorsiones producidas por el relieve del terreno y la inclinación se ha eliminado y como resultado la ortofotografía posee las características de un mapa (ver figura 16 a, b, c). Tal fotografía no se puede tomar directamente desde el aire por lo que se necesita emplear un procedimiento con instrumentos especiales, los cuales se pueden conectar a los restituidores convencionales.

figura. 16. **Ortofotomapas.**



Inicialmente el modelo estereoscópico se coloca con su orientación absoluta correcta en el restituidor. En principio el modelo se divide en una serie de fajas paralelas y después se subdivide en pequeños elementos lineales por medio de una ranura estrecha.

Los movimientos de la ranura están relacionados directamente con los movimientos de la marca flotante en el restituidor pero en lugar de que el operador siga rasgos individuales el modelo se barre sistemáticamente en la dirección X y Y, manteniéndose continuamente la marca flotante sobre la superficie del modelo estereoscópico.

Al mismo tiempo se expone una película ortonegativa a través de la rendija la cual se mueve a lo largo de cada faja, para producir un negativo libre de desplazamiento por relieve e inclinación a una escala uniforme.

El ortonegativo, por lo tanto retiene todos los detalles presentados en la fotografía original a diferencia del mapa de línea convencional, en el cual el operador selecciona los detalles a ser representados.

Cuando se añade información adicional como curvas de nivel, nombres de ciudades, cuadrícula, etc., la ortofoto se convierte en un ortofotomapa, porque contiene datos adicionales y objetos ubicados en la ortofoto.

Las curvas de nivel se pueden producir de muchas maneras, así como por el mismo proceso de barrido, pero posiblemente el modo mas preciso y simple es configurar, en forma normal, colocando el modelo estereoscopio en el restituidor. La información adicional se puede añadir a la ortofotografía durante el proceso de impresión.

1.9. Aéerotriangulación.

Antes de la aparición de l equipo electrónico para medición de distancias, la aerotriangulación el método preferido y principal para levantamientos de control horizontal, especialmente si se tenían que cubrir áreas extensas. Los ángulos se podían determinar fácilmente en comparación con las distancias, sobre todo en el caso de líneas largas sobre terreno compacto y boscoso.

La aérotiangulación es una técnica que permite propagar el soporte terrestre por medio de métodos e instrumentos fotogramétricos en forma rápida, eficaz y económica para dar el control de grandes extensiones de terreno, que por métodos directos sería impracticable y en algunas ocasiones imposible de realizar.

Tiene muchas ventajas debido a que se puede trabajar con imágenes del terreno que abarcan una amplia superficie y que son la base para el apoyo terrestre para la elaboración de cartas topográficas. La aéreo triangulación se puede efectuar por los siguientes métodos:

- I. Aérotiangulación analógica
- II. Aérotiangulación analítica

1.9.1 Aérotiangulación analógica.

Este tipo de aéreo triangulación permite obtener coordenadas instrumentales sobre un modelo estereoscopio, usa instrumentos fotogramétricos.

1.9.1 Aérotiangulación analítica.

Con aéreo triangulación analítica se obtienen coordenadas instrumentales en el plano de la imagen, que al ser procesadas en la computadora dan como resultado modelos y fajas formadas analíticamente.

En la aérotiangulación analítica se emplea instrumentos como estereocomparadores o monocomparadores, aunque también pueden utilizarse instrumentos analógicos. Estos comparadores pueden medir la posición de puntos en el plano de la imagen con respecto al sistema coordenado de los mismos, con base a las coordenadas instrumentales en el plano de la imagen, referidas al punto principal y a las constantes de calibración de las cámaras, es posible reconstruir matemáticamente un haz de rayos perspectivas correspondientes a las placas medidas. Por consiguiente, la orientación relativa y formación de fajas se realizan analíticamente.

2. CARTOGRAFIA

La cartografía es el arte de representar detalles geográficos, propios de la región o el país en estudio, en forma de mapas de diversas escalas y propósitos. Los detalles pueden ser topográficos, económicos, culturales, etc. cada uno vinculado con una especialidad de la geografía.

Los detalles topográficos son los que interesan al ingeniero para la realización de estudios preliminares de proyectos tales como carreteras, edificios, obras de infraestructura, etc. El problema de la cartografía se enfoca en la distorsión de área y forma, las proyecciones que veremos mas adelante, permiten reducir las distorsiones.

2.1. Servicios de la cartografía.

Los planos y mapas los elaboran topógrafos privados, empresas diversas organismos del gobierno como por ejemplo IGN, INE, etc. Desafortunadamente, muchas veces las actividades cartográficas no están bien coordinadas, por lo cual ocurre cierta duplicación de trabajo y se desconoce la existencia de mucha información valiosa que por motivo, no esta a la disposición de los usuarios potenciales.

2.2. Escala de un plano o mapa.

La elección de la escala de un plano o mapa depende del propósito, tamaño de la precisión exigida de dibujo terminado. Las dimensiones de las hojas estándar, el tipo, la cantidad de símbolos topográficos y los requisitos de precisión al medir distancias a escala en un mapa, son algunas consideraciones que también intervienen en la selección de la escala.

La escala se expresa en una de tres formas: a) por una relación o fracción representativa, como por ejemplo, 1:2000 o $1/2000$; b) por una equivalencia, como por ejemplo, 1 plg. = 200 pie, y c) gráficamente. Dos escalas gráficas colocadas en ángulo y en esquinas diagonalmente opuestas en la hoja de un plano o un mapa, permiten tomar medidas con exactitud aun cuando cambien las dimensiones del papel.

Las escalas se clasifican generalmente como grande, mediana y pequeña. Los intervalos de escala en el sistema métrico son los siguientes:

Escala grande, 1:1 000 (1 cm. = 10 m) o mayor

Escala mediana, entre 1:1000 y 1:10 000

Escala pequeña, 1: 10 000(1 cm. = 100 m) o menor

Un plano dibujado a cualquier escala puede amplificarse o reducirse por medio de un pantógrafo, de un proyector de tomas opacas o fotográficamente. Es importante advertir que en el caso de planos o mapas amplificados los errores también se amplifican y el resultado puede no satisfacer las normas de precisión.

2.2.1. Escalas usadas en Guatemala.

El territorio Guatemalteco se encuentra dividido en varias zonas definidas y clasificadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) para los efectos de cambio de mapas y actualización de los mismos, pudiéndose encontrar dichos mapas a escalas de 1:5,000, 1:25,000 y 1:50,000.

Cuando se realiza un proyecto de ingeniería y de acuerdo con el IGN, los mapas realizan un papel importante en las tareas como:

- Conocimiento del área del proyecto.
- Identificación de población
- Accidentes geográficos
- Relieve del terreno.

Al iniciar un proyecto existe un mapa de referencia en el cual se hará la definición de perfiles preliminares de las obras a diseñar, en este mapa base se harán los primeros bosquejos y se tomarán los primeros datos sobre distancias y niveles del terreno con el auxilio de las curvas de nivel. Permitirá seleccionar las tareas o rutas más convenientes para un proyecto determinado, posibilitando la identificación de obstáculos. Actualmente se llevan a cabo en el IGN tareas de digitalización de la cartografía de Guatemala, a manera de proveer de una fuente más fácil e inmediata de referencia del territorio nacional.

2.3. Proyecciones cartográficas.

Los métodos de proyección cartográfica son numerosos y básicamente tienen el mismo fundamento, que consiste en transformar coordenadas geográficas, longitud y latitud (M y L) que definen la posición de un punto, en otras cartesianas (X y Y) o polares (α y d) que definen la posición de otro punto, homólogo que el primero sobre una superficie plana. La transformación cartográfica se ocupa solamente de la situación planimétrica de los puntos, la tercera dimensión o altitud se representa por el sistema de planos acotados, también en sistema de curvas de nivel, ya visto en topografía donde se muestra una cota definida.

Más que todo el tipo de proyección a utilizar somete, a que método es más fácil de utilizar para el usuario, dadas las propiedades que tenga la proyección, existe un tipo de singular de proyecciones cartográficas en que la correspondencia en lugar de hacerse analítica, se establece geoméricamente proyectando los puntos de la superficie terrestre sobre un plano o sobre una superficie desarrollable, como un cilindro, desde un punto de vista determinado. Cualquiera que sea el sistema de proyección que se utilice, todos los puntos tienen su homólogo en cualquier proyección, siempre y cuando tenga una latitud y longitud, o paralelo y meridiano de un plano.

2.4. Deformación de las representaciones cartográficas.

En cada superficie que no se pueda desarrollar como un elipsoide de revolución, cualquiera que sea el sistema de proyección elegido, la representación plana del mismo presentará deformaciones lineales, superficiales o angulares.

Estas deformaciones se definen para un punto determinado, y se obtienen como cocientes de los elementos homólogos en las proximidades de dicho punto.

Al utilizar planos establecidos empleando determinado sistema de proyección, es necesario conocer si serán precisas correcciones y la cuantía de las mismas, al pasar de los elementos determinados sobre el plano a los del terreno y viceversa, las deformaciones que se presentan mas a menudo son: deformaciones lineales, superficiales, angulares.

2.4.1. Deformaciones lineales.

Representado por Δl la longitud de un elemento de una línea cualquiera sobre el terreno y $\Delta l'$ su homóloga en la proyección, se llama modulo de deformación lineal en el punto considerando a la relación:

$$k = \Delta l / \Delta l' = \text{proyección} / \text{terreno}$$

Este módulo puede ser variable con la situación del punto sobre la superficie terrestre, y al mismo tiempo, puede variar en cada uno de ellos con la dirección que se considera.

2.4.2. Deformaciones superficiales.

De mismo modo, las magnitudes superficiales sufren deformaciones, llamándose modulo de deformación superficial en un punto al cociente:

$$s = \Delta s' / \Delta s$$

En el cual $\Delta s'$ y Δs son elementos de superficie homólogos en la proyección y en el terreno respectivamente.

2.4.3. Deformaciones angulares.

El ángulo c formado por los dos elementos lineales en la superficie terrestre, le corresponde en la proyección el ángulo α' formado por los elementos homólogos de aquellos, normalmente distintos del α . A la diferencia $\alpha' - \alpha$ se la denomina deformación angular.

2.4.4. Escala local.

El modulo de deformación lineal, k , es igual a al unidad únicamente en las líneas automecoicas; por consiguiente solo en estas líneas es valida la escala E , en que esta dibujado el plano; Para cualquier otro lugar, por haber sufrido deformaciones, la relación entre las longitudes del mapa y del terreno variara ligeramente y no será exactamente la escala dada, sino otra algo diferente, a la que se llama escala local.

Si la escala es:

$$E = 1 / M$$

En un punto en el que el modulo de deformación lineal es m , la escala anterior se transforma en:

$$E = 1 / M * m = 1 / M*m$$

En las proyecciones cartográficas usuales m suele ser muy próximo a la unidad, aun refiriéndose a zonas muy extensas, y en cualquier caso la variación es muy lenta, pudiéndose considerar la escala constante aun para grandes extensiones de terreno. Naturalmente la escala es constante para todos los puntos de una línea isométrica.

2.5. Clasificación de proyecciones según sus deformaciones.

Existen muchos sistemas de proyección que se conocen hoy en día, estos tienden a reducir o eliminar, alguna de las deformaciones anteriores, mas no hay un sistema que elimine todas, la clasificación desde el punto de vista de las deformaciones es muy compleja debido a la gran cantidad que pueden establecerse; sin embargo, estos son cuatro grandes grupos en que se pueden clasificar.

2.5.1. Proyecciones equivalentes.

Estas también son llamadas autalicas en varios libros. Son aquellas en las que se conservan las áreas, es decir, que porciones de igual superficie en la tierra quedan representadas por otras de igual área en la proyección, aunque las figuras dejen de ser semejantes. Evidentemente estos sistemas de proyección son de gran aplicación para operaciones catastrales.

2.5.2. Proyecciones conformes.

Estas proyecciones también reciben los nombres de autogonales, isógonas u ortoformas. En estas se conservan los ángulos de lados suficientemente cortos, y por lo tanto, a una figura pequeña de la superficie terrestre le corresponde otra semejante en el plano.

El cumplimiento de esta condición hace que los meridianos y paralelos se corten en la proyección perpendicular entre sí, como en la superficie terrestre. La recíproca no siempre es cierta, ya que existen proyecciones en las que, no siendo conformes, los meridianos y paralelos se cortan ortogonalmente.

2.5.3. Proyecciones afilácticas.

Se llaman así a todas las proyecciones en las que no satisfaciéndose por completo ninguna de las dos propiedades anteriores, reducen al mínimo las inevitables deformaciones.

2.5.4. Proyecciones automecóicas.

Aunque esta expresión significa que “conserva las distancias” y suele aplicarse a determinadas proyecciones, en realidad no existe ninguna que conserve las longitudes en todas las direcciones. Se da este nombre, no obstante, a las proyecciones que conservan las distancias en determinado sentido o dirección.

2.6. Clasificación de las proyecciones por el sistema de transformación.

Se clasifican en dos grandes grupos:

2.6.1. Sistema de proyección en perspectiva.

En este la superficie terrestre viene dada por una verdadera proyección sobre un plano, tomando un centro único de proyección llamado punto de vista, y suele suponerse en la vertical del centro de la zona que se va a representar. Estos sistemas se usan en mapas continentales, pero tiene mas usos en los mapas-mundi.

2.6.2 Sistema de proyección por desarrollo.

En este sistema se supone a la tierra envuelta por una superficie enrollable, un cono o cilindro, sobre cuya superficie se proyectan los diversos puntos de la tierra, bien por procedimientos geométricos o de acuerdo con una ley analítica determinada.

Los sistemas perspectivos son aplicables principalmente a la representación de grandes extensiones, en estos casos se considera la tierra como esférica, toda vez que los errores que dicha hipótesis sean gráficamente inapreciables, dadas las pequeñas escalas que se usen. Depende de la situación la proyección perspectiva recibe diferentes nombres.

Si el punto de vista se supone en el infinito y las proyectantes son perpendiculares al plano de proyección, la proyección se llama ortográfica u ortogonal; si esta en la superficie terrestre, se llama estereográfica, y si en el centro de la tierra, central o gnomónica.

Cabe mencionar que de estas proyecciones, recibe distintos nombres según la situación de proyección, también llamado cuadro. Si el cuadro es paralelo al ecuador, se llama polar o ecuatorial; si lo es a un meridiano, se llama meridiana, y si es paralelo al plano tangente en el punto central de la zona a representar, se llama horizontal o cenital.

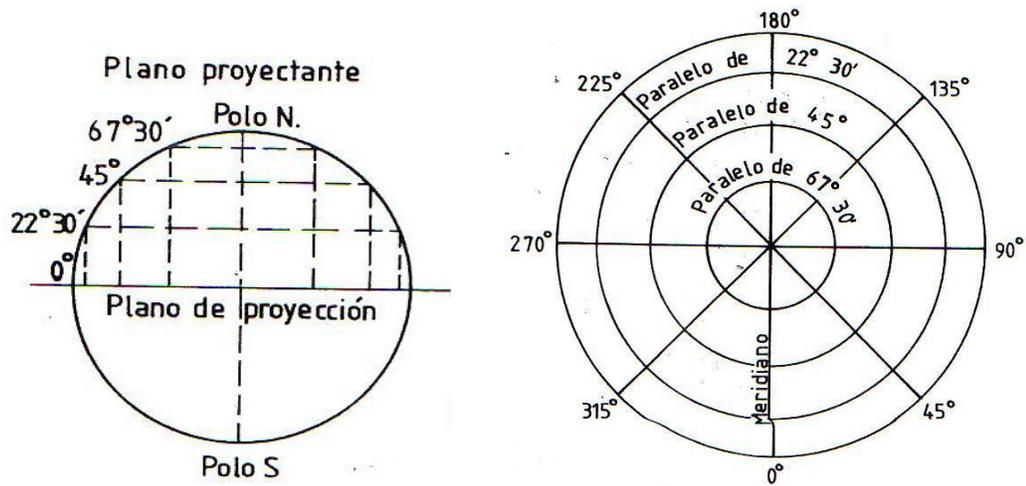
2.6.3. Proyección Ortográfica.

Esta proyección se representa en el hemisferio anterior, es decir, el situado en el mismo lado que el punto de vista. Debido a las grandes deformaciones que se producen en los límites de los cuadros, este tipo de proyección se utiliza casi exclusivamente para determinados estudios de carácter geográfico, entre las proyecciones ortográficas usadas están.

2.6.3.1. Proyección Ortográfica polar.

En la que los paralelos son circunferencias de separación variable según la latitud y que conservan su verdadera magnitud; los meridianos son rectas cuya separación angular es igual a la diferencia de sus longitudes; Cualquier otro círculo de la tierra tiene por proyección una elipse. Tiene su principal aplicación en las regiones polares, que es donde los paralelos resultan mas separados en la proyección para igual separación en el terreno.

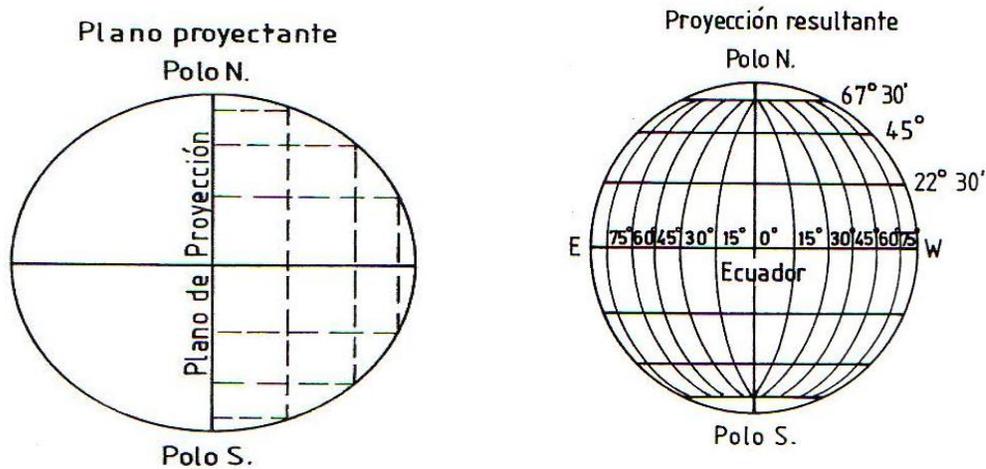
Figura 17. **Proyección ortográfica polar.**



2.6.3.2. **Proyección Ortográfica Meridiana.**

En esta proyección los paralelos son rectas perpendiculares a la línea de los polos, y los meridianos, elipses, a excepción de el que es paralelo al plano de proyección que resulta un círculo y del que le es perpendicular, que se proyecta según una recta. Tiene su principal aplicación para regiones ecuatoriales en la zona próxima al meridiano central.

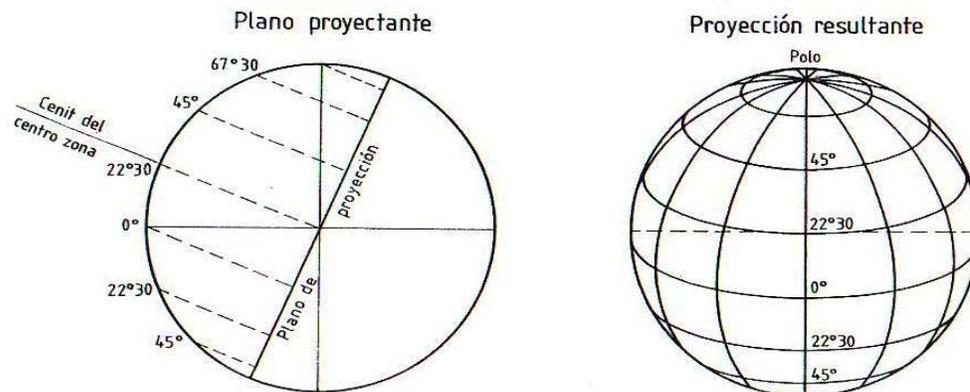
Figura 18. **Proyección ortográfica meridiana.**



2.6.3.3. Proyección Ortográfica Cenital u Horizontal.

Los meridianos como los paralelos resultan ser elipses, excepto el meridiano perpendicular al plano de proyección que es una recta. Tiene aplicación para cualquier zona siempre y cuando la diferencia de longitudes de los meridianos extremos no sea muy grande.

Figura 19. **Proyección cenital.**



2.6.4. Proyección Estereográfica.

Es una perspectiva en la cual el punto de vista esta situado sobre la superficie de la tierra. El plano del cuadro supondremos que pasa por el centro de la tierra y es paralelo al tangente a la misma en un punto opuesto al de vista.

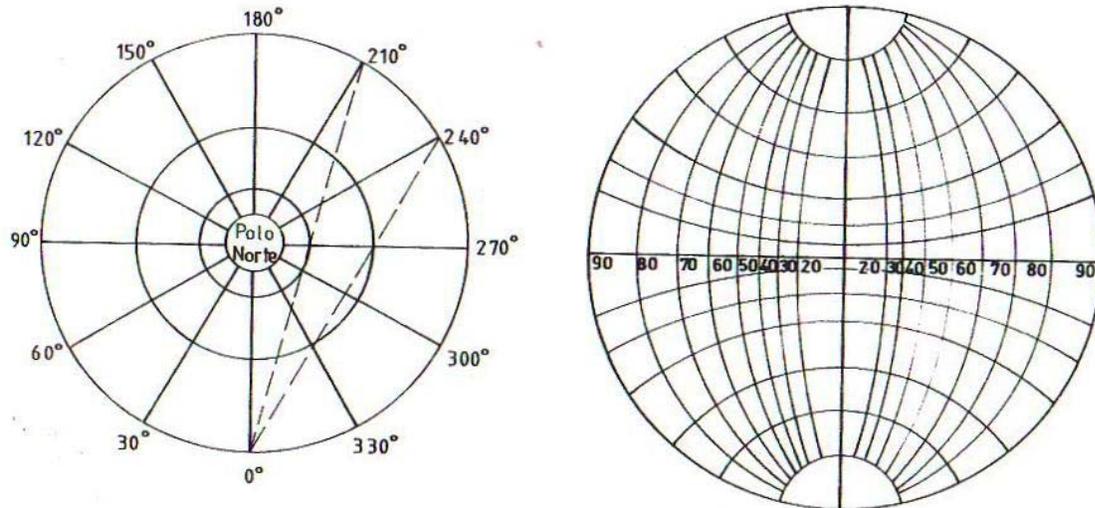
2.6.4.1. Proyección Estereográfica Ecuatorial.

La representación es análoga a la ortográfica ecuatorial, es decir, los meridianos son rectas que pasan por el centro de la proyección formando entre si ángulos iguales a la diferencia de sus longitudes y los paralelos son circunferencias, pero cuyos radios resultan distintos que en esta, regularizándose mas la separación y permitiendo, consiguientemente, representar zonas mas extensas.

2.6.4.2. Proyección estereográfica meridiana.

el plano de proyección o cuadro esta constituido por el meridiano de longitud 90° - 270° , siendo el meridiano origen, por consiguiente, el perpendicular a este. El punto de vista esta situado en el ecuador, en el extremo del radio perpendicular al plano del cuadro. Esta generalmente se emplea en los mapas-mundi; los paralelos y el meridiano se representan por círculos.

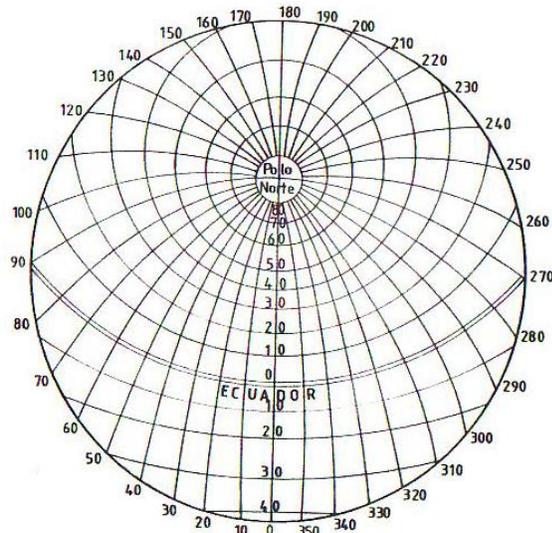
Figura 20. **Proyección estereográfica.**



2.6.4.2. Proyección Estereográfica Cenital.

El plano de proyección es el paralelo al del horizonte de un lugar C y que pasa por el centro de la esfera. El meridiano origen es el de dicho lugar, y el punto de vista, se encuentra en el extremo del diámetro que pasa por el mismo lugar C, y es opuesto a este. En esta proyección los meridianos son circunferencias, lo mismo que los paralelos, obteniéndose una representación análoga a la ortográfica cenital, esta proyección se utiliza poco en la construcción de mapas-mundi, en cambio es muy utilizada en la construcción de mapas celestes para representar el aspecto del cielo en un lugar determinado.

Figura 21. **Proyección estereográfica zenital.**



2.6.5. **Proyección gnomónica o central.**

El punto de vista en estos sistemas se encuentra como sabemos en el centro de la esfera, y consiguientemente no son apropiados para representar siquiera un hemisferio completo, ya que las líneas de proyección tienden a ser paralelas al plano del cuadro, conforme el punto que se proyecta se aleja del centro de proyección.

Para salvar este inconveniente, suele proyectarse la superficie esférica sobre un poliedro circunscrito a la misma, desarrollando luego este sobre un plano. El poliedro usado comúnmente es el hexaedro o cubo.

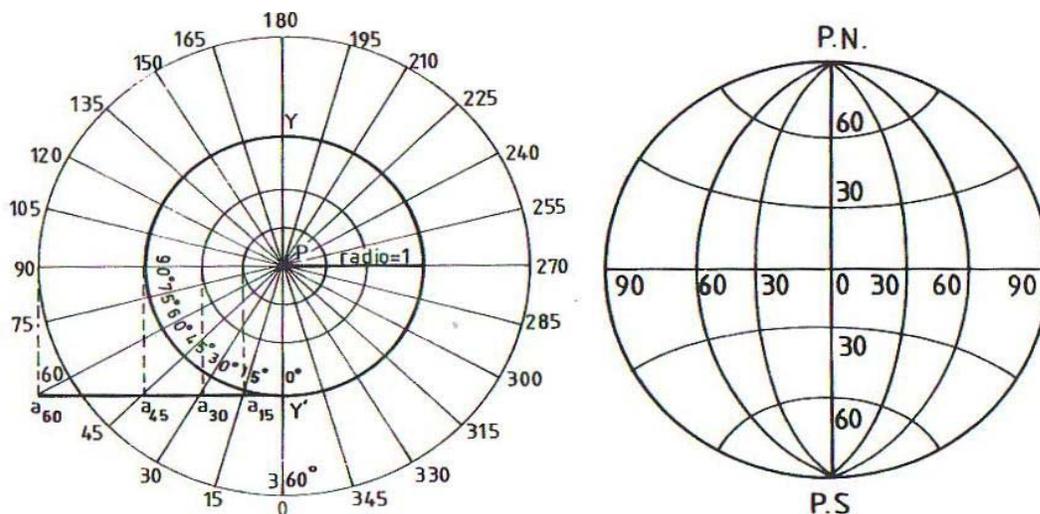
Este sistema de proyección se utilizó en principio para la construcción de relojes de sol y para indicar sobre la superficie de la tierra la marcha de los astros, dándose el nombre de horóscopo y tomando posteriormente el nombre con que se la conoce hoy, debido al gnomon, o varilla indicadora de la hora de los relojes solares.

La proyección gnomónica se usa poco en geografía debido a sus deformaciones, sin embargo, sus características la hacen muy apropiada para la construcción de cartas celestes y mapas geológicos, así como para la navegación marítima y aérea, y para la situación de puntos por direcciones inversas radiogonómicas. La proyección gnomónica polar o directa el plano del cuadro es tangente a la esfera en el polo, resultando en la proyección los meridianos rectas que pasan por el centro de la proyección y forman con el primer meridiano ángulos iguales a sus longitudes respectivas; los paralelos son circunferencias con centro común en el centro de la proyección y radio igual a la tangente de sus colatitud.

En la proyección gnomónica meridiana se toma como plano de proyección, una tangente a la esfera en un punto del Ecuador, y como primer meridiano el correspondiente al punto de contacto.

La proyección resulta en que los meridianos son rectas paralelas al origen y los paralelos son hipérbolas cuyos vértices distan del centro el valor de tangente L , siendo L la altitud del paralelo correspondiente.

Figura 22. **Proyección Gnomónica o Central.**

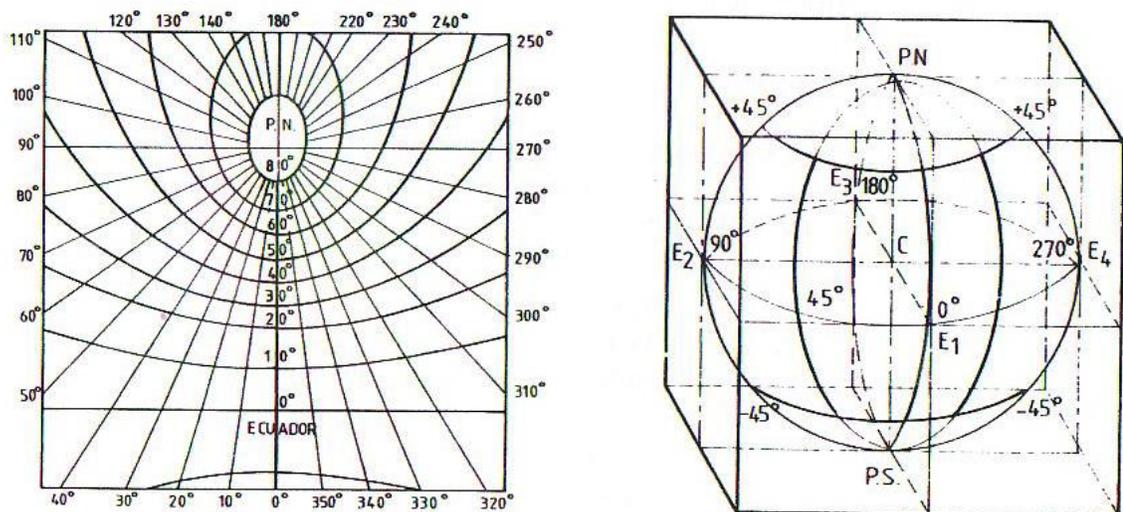


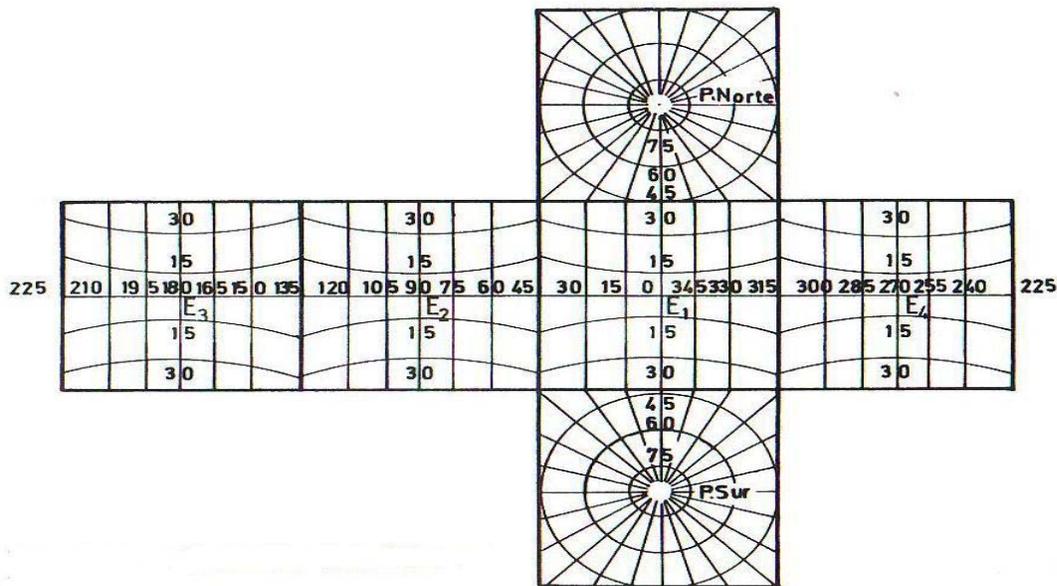
En la proyección gnomónica oblicua el plano del cuadro es tangente a la esfera en un punto cualquiera, en esta proyección los meridianos resultan rectas concurrentes en un punto p, que es proyección del polo terrestre; los paralelos son elipses, parábolas o hipérbolas, dependiendo de la latitud del paralelo en cuestión respecto de la del punto de tangencia del plano del cuadro con la esfera.

En el caso de que se quiera obtener la representación de toda la superficie terrestre se recurre a circunscribir a la esfera un hexaedro o cubo, de tal manera que sus caras sean tangentes en los polos norte y sur y en cuatro puntos del Ecuador.

En las caras tangentes en los polos se representan, respectivamente, en proyección gnomónica polar los dos casquetes esféricos norte y sur, de colatitud 45° . En las otras cuatro caras se representan, en proyección gnomónica meridiana el resto de la superficie esférica, o sea, en cada cara una zona limitada por los paralelos de latitud $\pm 45^\circ$ por meridianos separados 90° en longitud.

Figura 23. **Proyección gnomónica oblicua.**





2.7. Proyecciones por desarrollo.

Este método consiste, como hemos dicho, en asimilar la porción de la superficie no a un plano, sino a una superficie curva desarrollable, cónica o cilíndrica, lo que da a lugar a las respectivas proyecciones cónicas o cilíndricas, que se desarrollan después sobre un plano.

Esta asimilación puede hacerse, bien geoméricamente por proyecciones de la superficie terrestre sobre el cono o cilindro, o bien analíticamente por representación de los meridianos y paralelos sobre la superficie desarrollable, de acuerdo con una ley matemática, cuya finalidad es reducir al mínimo las deformaciones lineales, angulares o superficiales, según la finalidad perseguida.

2.7.1. Proyección Cilíndrica.

En este sistema, la esfera se supone envuelta por un cilindro de revolución cuyo eje coincide con un diámetro de la tierra.

Cuando el eje del cilindro coincide con la línea de los polos, la proyección se denomina directa; al llevar la superficie esférica sobre la cilíndrica, los meridianos que en la tierra convergen sobre el polo, se separan y resultan rectas paralelas en el cilindro; con ello, los arcos de paralelo aumentan igualándose todos al ecuador y si es necesario aumentan en la misma proporción los arcos de meridiano, para evitar la deformación; los meridianos y paralelos se transforman en dos series de rectas paralelas, perpendiculares entre si ambas series.

El principal defecto de esta proyección es que aumenta las dimensiones lineales a medida que se alejan del ecuador, haciéndose máximo en las regiones polares. Este sistema es de gran utilidad en las cartas marinas, y puede emplearse en los atlas geográficos para las regiones ecuatoriales, en las que la deformación obtenida es pequeña.

Cuando, supuesta la tierra esférica, el eje del cilindro coincide con un diámetro cualquiera del ecuador, la proyección se denomina transversa, recibiendo el nombre de horizontal y oblicua cuando dicho eje ocupa una posición distinta de las indicadas.

El cilindro en cualquiera de los casos indicados puede ser tangente o secante a la superficie esférica, recibiendo en estos casos los nombres, de cilíndrica tangente o secante, respectivamente.

Figura 24. **Proyección cilíndrica.**

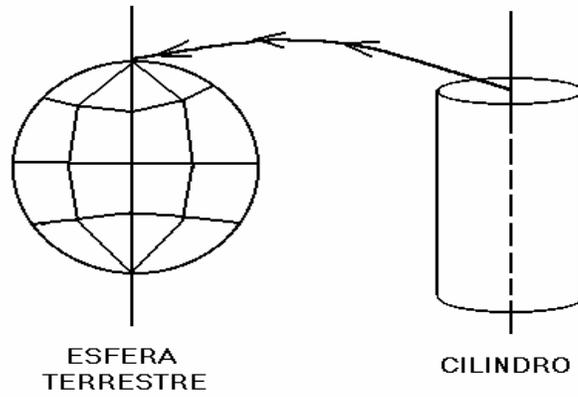
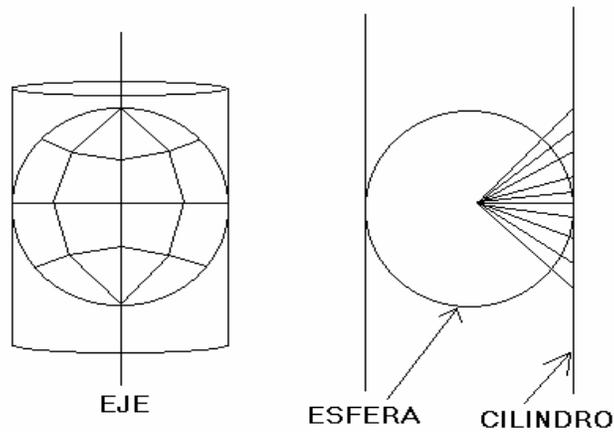


Figura 25. **Proyección Gnomónica o Central planta.**



2.7.2. Proyección cónica.

Esta proyección es atribuida a Tolomeo, y ella se emplea igualmente una superficie auxiliar desarrollable. Se supone la superficie terrestre revestida de una superficie cónica de revolución, cuyo eje coincide con un diámetro de la esfera.

Análogamente a la proyección cilíndrica cuando el eje del cono coincide con la línea de los polos la proyección se denomina directa, y al desarrollar el cono sobre un plano, los meridianos resultan rectas concurrentes en un punto, y los paralelos se transforman en arcos de circunferencia cuyo centro es el punto de concurrencia de los meridianos.

Cuando el eje del cono coincide con un diámetro del ecuador la proyección se denomina transversa, y horizontal u oblicua cuando el citado eje ocupa una posición distinta de las dos indicadas, igual que en las proyecciones cilíndricas, se dividen en tangentes o secantes, según que el cono sea tangente o secante a la superficie esférica.

Figura 26. **Proyección cónica.**

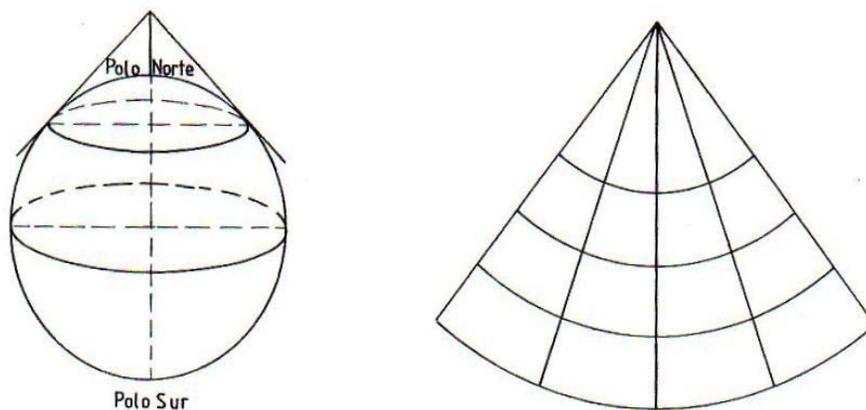
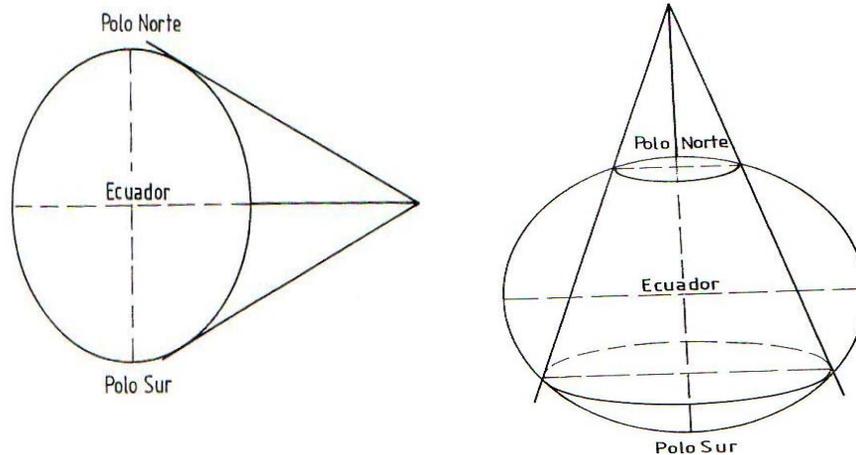


Figura 27. **Proyección cónica perfil.**



2.8. Clasificación de coordenadas.

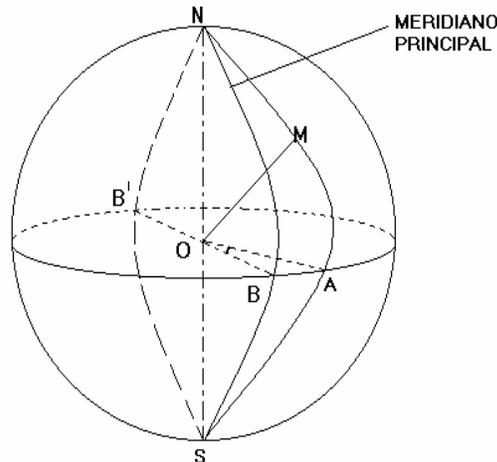
2.8.1. Coordenadas geográficas.

La situación de un punto sobre la superficie terrestre queda definida por la intersección de un meridiano y de un paralelo que determinan sus coordenadas geográficas, longitud y latitud.

Longitud: la longitud de un punto en la superficie terrestre, es la medida en grados, minutos y segundos sexagesimales del rectilíneo del diedro formado por el meridiano que pasa por el punto considerado y otro meridiano fijo que se adopta como origen de longitudes denominado meridiano principal o primer meridiano, que es para España el que pasa por el observatorio de Madrid, aunque para otros trabajos se toma universalmente como origen el que pasa por el observatorio de Greenwich, población próxima a Londres.

Si el meridiano principal fuese, e NBSB, la longitud del punto M sería el ángulo BOA.

Figura 28. Meridiano.



Las longitudes se miden sobre el Ecuador de 0° a 180° a uno y otro lado del meridiano origen. Si se supone un observador situado con los pies en el centro de la tierra, la cabeza hacia el polo norte y mirando al meridiano principal, los puntos que quedan a su izquierda son de longitud este positiva y los de la derecha de longitud oeste o negativa.

La longitud de un punto de la superficie terrestre, es el ángulo que la vertical del mismo forma con el plano del ecuador, se cuenta a partir de este, sobre el meridiano que pasa por el mencionado punto, variando desde 0° a 90° . Los puntos situados en el hemisferio norte tienen latitud norte, septentrional o positiva, y los del hemisferio sur, latitud sur, meridional o negativa. Si la tierra se supone esférica, la latitud del punto es el arco AM de meridiano comprendido entre el ecuador y el punto, medido por el ángulo MOA.

2.8.2. Coordenadas astronómicas.

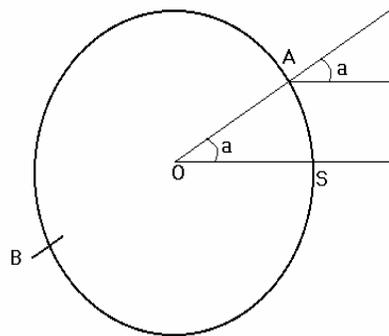
La astronomía considera a la tierra como un astro mas del sistema solar, estudiando sus relaciones y analogías con los demás cuerpos celestes, valiéndose del artificio de suponer el universo como una gigantesca superficie esférica, cuyo centro esta ocupado por la tierra, y en la que están como engastadas las estrellas, ocupando en la misma una posición fija e inmutable.

Desde tiempos pasados, la idea de la redondez de la tierra ya fue intuita por los filósofos griegos. Eratostenes, de la escuela de Alejandría, en el año 250 a. j., llego a mas, deduciendo sus dimensiones con una aproximación muy grande, teniendo en cuenta la limitación de los medios que pudo emplear.

Se observo que en el solsticio de verano, en Suanu población al sur de Tebas, próxima al trópico de cáncer, la dirección de los rayos solares era perpendicular a la superficie terrestre, mientras que en Alejandría, en la misma época del año, tenían una cierta inclinación, efecto que contribuyo a que la superficie de la tierra no era plana, considerándola esférica.

Siguiendo el río Nilo, camino que entre las poblaciones mencionadas, va aproximadamente a lo largo de un meridiano midió la distancia entre ambas.

Figura 29. **Ubicación coordenadas astronómicas.**



El ángulo “a” (ver Fig. 29), que en Alejandría, en la misma época del año, formaban los rayos solares con la vertical, lo midió con un gnomon, el instrumento mas antiguo empleado en astronomía, formado por una varilla o estilo vertical que proyectaba su sombra sobre una plataforma horizontal.

Con los datos obtenidos $SA = 5,000$ estadios, unos 790 kilómetros y $a =$ quincuagésima parte de la circunferencia ($7^\circ 12'$), y teniendo en cuenta que este ángulo resulta igual al A o S de las verticales de Suanu y Alejandría, ya que los rayos solares en ambas poblaciones pueden considerarse paralelos dada la enorme distancia a que se encuentra el sol, resolvió el problema por una simple regla de tres:

Comparando la longitud total de la circunferencia meridiana A S B con la del arco A S de meridiano medido, se tiene:

$$\frac{2\pi R}{AS} = \frac{360^\circ}{\alpha}, \text{ de donde} \quad 2\pi R = \frac{360^\circ AS}{\alpha}$$

$$R = \frac{360^\circ AS}{2 \pi \alpha}, \text{ finalmente}$$

$$R = \frac{180^\circ As}{\pi \alpha}$$

Es decir, el valor de la longitud del radio terrestre, en función de las cantidades medidas A S y α , y del valor de π .

Esta noción de la redondez de la tierra se perdió durante la edad media, resucitándose en la moderna, en la cual fue prácticamente demostrada por los españoles supervivientes de la expedición de Magallanes, que después de rodear el mundo con su nave Victoria, mandada por Juan Sebastián el cano, arribaban a San Lucas de Barrameda, puerto del cual habían partido unos tres años antes.

Otras muchas pruebas existen de la redondez de la tierra. Así por ejemplo, en los eclipses de luna que se producen cuando esta penetra en el cono de sombra arrojado por la tierra, nuestro planeta se proyecta sobre la luna en forma circular, lo que solo puede ocurrir suponiéndolo de forma esférica o muy aproximada a ella.

Cuando un navío se aleja o se acerca a la costa, se observa, en el primer caso, que va desapareciendo su casco, como si estuviera hundiendo, siendo lo último que se ve la parte mas alta de su estructura, e inversamente de estrellas y apareciendo otras nuevas.

2.8.3 Coordenadas topográficas.

La topografía se divide en tres grandes apartados, los cuales son:

Planimetría: esta es la que estudia los procedimientos para la representación de una superficie terrestre en un plano horizontal, en realidad, lo que interesa no es la verdadera magnitud entre puntos, sino su proyección sobre un plano horizontal de referencia. Al considerar dos puntos en la superficie terrestre, se determinan tres tipos de distancias:

- A) Distancia natural: es la real, siguiendo las irregularidades del terreno.
- B) Distancia geométrica: es la línea recta que une los puntos mencionados.
- C) Distancia reducida: es la proyección sobre el plano horizontal de referencia de la distancia geométrica.
- D) Alineación: es la visual entre dos puntos. En la práctica topográfica nos podemos encontrar con obstáculos que impidan una alineación directa, por lo que se tendrá que recurrir a nuevas alineaciones auxiliares para obtener, a través de ellas, todos los puntos deseados.

Métodos planimétricos: la determinación de puntos para su posterior estudio se efectúa mediante la aplicación de coordenadas, que a su vez se clasifican en:

- a) Coordenadas Cartesianas: a partir de dos ejes perpendiculares entre si xx e yy , que dividen el espacio en cuatro sectores denominados cuadrantes y en el que fijaran, a partir del origen, los valores de x o y , teniendo en cuenta los signos geométricos de cada cuadrante.
- b) Coordenadas polares: a través de una distancia y angulación determinadas con respecto al origen.
- c) Coordenadas bipolares: a través de dos ángulos, la intersección fija el punto.

2.8.4. Proyección mercator.

Este tipo de proyección considera que la tierra es esférica y proyecta los puntos de superficie cilíndrica tangente al ecuador

2.8.5. Proyección transversal de mercator.

La proyección UTM es un sistema cilíndrico transverso conforme, tangente al elipsoide a lo largo de un meridiano que se toma como meridiano origen y de forma que el eje del cilindro coincide con un diámetro ecuatorial, normal a dicho meridiano.

Los puntos del elipsoide terrestre se proyectan sobre el cilindro según una ley analítica, pero no perspectiva.

Al desarrollar el cilindro, el ecuador terrestre se transforma en una recta, que se toma como eje de las X, y el meridiano origen se transforma en otra recta perpendicular a la anterior, que será el eje de la Y. De esta manera la proyección resulta con dos ejes de simetría, reduciéndose considerablemente el volumen de cálculos necesarios para efectuar la transformación de coordenadas geográficas en rectangulares.

Este sistema aplicado a grandes extensiones de terreno, hace que las deformaciones lineales aumenten conforme el punto se aleja del meridiano origen, en proporción directa al cuadrado de la distancia; dando lugar a que las alteraciones alcancen valores inadmisibles.

Para paliar este inconveniente, se recurre al artificio de subdividir el elipsoide terrestre en 60 husos de 6° de amplitud cada uno, constituyéndose de este modo 60 proyecciones iguales, pero que se refiere cada una a su meridiano central y al ecuador; por otro lado se limita la proyección entre los paralelos central y al ecuador; por otro lado se limita la proyección entre los paralelos de $\pm 80^\circ$ de latitud.

Como todos los husos son geoméricamente iguales, la formulas de transformación y las tablas deducidas para uno de ellos son aplicables a todos los demás; radicando en esta idea la universalidad del sistema.

La numeración de los husos se realiza del 1 al 60 a partir del antimeridiano de Greenwich, de oeste a este; estando comprendida la Península Ibérica y las Islas Baleares en los husos 29, 30 y 31, en tanto que las Islas Canarias no entran por completo en el huso 28.

Con objeto de reducir las deformaciones lineales extremas de cada huso, se aplican a todas las longitudes un factor de reducción de escala, $K_0 = 0.9996$; la aplicación de este factor no altera la conformidad ni la naturaleza de la proyección, convirtiendo dentro de cada huso, la proyección cilíndrica tangente en otra semejante y secante, con dos líneas automecoicas simétricas respecto del meridiano central.

Al aplicar este artificio, resulta que el modulo de anamorfosis lineal varia para la península entre 0.9996 y 1.0005, no pasando la alteración máxima, por consiguiente, de un 0.5 por mil; que es la mitad de la máxima alteración que se produce en el sistema Lambert.

Los sistemas de referencia adoptados en esta proyección son los siguientes:

- En el elipsoide, el meridiano central del huso para las longitudes, y el Ecuador para las latitudes.
- En el plano, la transformada del meridiano central del huso como eje de ordenadas, y la transformada del Ecuador, que es una recta perpendicular a la anterior, como eje de abcisas.

Este sistema de referencia en el plano, al ser cada huso una proyección UTM con su propio sistema de coordenadas cartesianas, presenta el inconveniente de que no pueden relacionarse entre si directamente dos puntos situados en husos distintos.

Este inconveniente se salva, en parte, considerando unas zonas de superposición o solape de unas 50 millas inglesas (83 Km.), que en nuestras latitudes equivale a unos 30' de arco paralelo, entre cada huso y los adyacentes. Los vértices geodésicos comprendidos en estas zonas están calculados en coordenadas UTM de los dos husos contiguos.

Por otra parte, se han establecido formulas que permiten relacionar las coordenadas UTM de un punto en un huso, con las que le corresponderían en el huso adyacente.

Como consecuencia de todo ello, la designación univoca de un punto en este sistema cartográfico deberá comprender, además de sus coordenadas UTM, la indicación del huso en que han calculado. Naturalmente cuando se trabaje en una zona de terreno situada toda ella dentro de un único huso, puede omitirse ala designación del mismo.

2.9. Formulas transformación de coordenadas geográficas a utm.

A continuación se explicara el método de la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas de la cuadrícula Universal Transversal de Mercator (UTM). Por la descripción de las tablas utilizadas para el esferoide de Clarke 1866.

Formulas:

$$Y = (I) + (II) p^2 + (III) p^4 + A6$$

$$X' = (IV) p + (V) p^3 + B5$$

Al sur del Ecuador, la formula correspondiente a la ordenada Y es:

$$Y = 10,000,000 - ((I) + (II) p^2 + (III) p^4 + A$$

Donde:

$$(I) = Sko$$

$$(II) = \frac{\text{sen } \theta \text{ cos } \theta \text{ sen}^2 1''}{2} \text{ ko.}10^8$$

$$(III) = \frac{\text{sen}^4 1'' \text{ sen} \theta \text{ cos}^3 \theta}{24} (5 - \tan^2 \theta + 9e'^2 \text{ cos}^2 \theta + 4e'^4 \text{ cos}^4 \theta) \text{ ko}10^{16}$$

$$(IV) = \text{cos } \theta \text{ sen } 1'' . \text{ Ko.}10^4$$

$$(V) = \frac{\text{sen}^3 1'' \text{ cos}^3 \theta}{6} (1 - \tan^2 \theta + e'^2 \text{ cos}^2 \theta) . \text{ ko.}10^{12}$$

$$p = 0.0001 \Delta\lambda$$

$$A_6 = \frac{p^6 \text{sen}^6 1'' \text{sen } \theta \text{cos}^5 \theta}{72 \theta} (61 - 58 \tan^2 \theta + \tan^4 \theta + 27 \theta e'^2 \text{cos}^2 \theta - 330 e'^2 \text{sen}^2 \theta) \cdot \text{ko} \cdot 10^{24}$$

$$B_5 = p^5 \text{sen}^5 1'' \text{cos}^5 \theta (5 - 18 \tan^2 \theta + \tan^4 \theta + 14 e'^2 \text{cos}^2 \theta - 58 e'^2 \text{sen}^2 \theta) \text{ko} \cdot 10^{20}$$

2.10. Transformación de coordenadas utm a geográficas.

Formulas:

$$\theta = \theta' - (VII) q^2 + (VIII) q^4 - D_6$$

$$\Delta\lambda = (IX) q - (X) q^3 + E^5$$

Donde:

$$(VII) = \frac{\tan \theta'}{2^2 \text{sen} 1''} (1 + e'^2 \text{cos}^2 \theta) \cdot \frac{1}{2} \cdot 10^{12}$$

$$(VIII) = \frac{\tan \theta'}{24^4 \text{sen} 1''} (5 + 3 \tan^2 \theta + 6 e'^2 \text{cos}^2 \theta - 6 e'^2 \text{sen}^2 \theta - 3 e'^4 \text{cos}^4 \theta - 9 e'^4 \text{cos}^2 \theta \text{sen}^2 \theta) \cdot \frac{1}{4} \cdot 10^{24}$$

$$(IX) = \frac{\sec \theta'}{\text{sen} 1''} \cdot \frac{1}{\text{ko}} \cdot 10^6$$

$$(X) = \frac{\sec \theta'}{6^3 \text{sen} 1''} (1 + 2 \tan^2 \theta + e'^2 \cos^2 \theta) \cdot 1/3 \text{ko} \cdot 10^{18}$$

$$q = 0.000001 X'$$

$$D6 = q6 \frac{\tan \theta}{720^6 \text{sen} 1''} (61 + 90 \tan^2 \theta + 45 \tan^4 \theta + 107e'^2 \cos^2 \theta$$

$$- 162e'^2 \text{sen}^2 \theta - 45e'^2 \tan^2 \theta \text{sen}^2 \theta) \cdot 1/6 \text{ko} \cdot 10^{36}$$

$$E5 = q5 \sec \theta' (5 + 28 \tan^2 \theta + 24 \tan^4 \theta + 6e'^2 \cos^2 \theta + 8e'^2 \text{sen}^2 \theta)$$

$$1/5 \text{ko} \cdot 10^{30}$$

2.11. Cálculo de convergencia.

La formula para el cálculo de la convergencia (diferencia entre el norte de cuadrícula y el norte verdadero), partiendo de las coordenadas geográficas, es:

$$C = (XII) p + (XIII) p^3 + C_5$$

La formula de convergencia, en función de las coordenadas UTM es:

$$C = (XV) q - (XVI) q^3 + F_5$$

Donde:

$$(XII) = \text{sen} \theta \cdot 10^4$$

$$(XIII) = \frac{\text{sen}^2 1'' \text{sen} \theta \cos^2 \theta}{3} (1 + 3e'^2 \cos^2 \theta + 2e'^4 \cos^4 \theta) 10^{12}$$

$$(XV) = \frac{\tan \theta'}{\text{sen} 1''} \cdot 1/k_0 \cdot 10^6$$

$$(XVI) = \frac{\tan \theta'}{3v^3 \text{sen} \theta} (1 + \tan^2 \theta - e^{-2} \cos^2 \theta - 2e^{-4} \cos^4 \theta) \cdot 1/k_0^3 \cdot 10^{18}$$

$$C_5 = \frac{p^5 \text{sen}^4 1'' \text{sen} \theta \cos^4 \theta (2 - \tan^2 \theta)}{15} \cdot 10^{20}$$

$$F_5 = q_5 \cdot \frac{\tan \theta'}{15v^5 \text{sen} 1''} \cdot (2 + 5 \tan^2 \theta + 3 \tan^4 \theta) \cdot 1/k_0^5 \cdot 10^{30}$$

La formula directa para hallar el valor de la convergencia en minutos es

$$C = \Delta \lambda' \text{sen} \theta \quad ; \quad \Delta \lambda' \text{ en minutos.}$$

2.12. Corrección de escala.

La formula para la corrección de escala es:

$$K = K_0 (1 + (XVIII) q^2 + 0.00003q^4)$$

Donde:

$$(XVIII) = \frac{1 + e^{-2} \cos^2 \theta}{2v^2} \cdot 1/k_0^2 \cdot 10^{12}$$

2.13. Ejemplo resuelto transformación de coordenadas geográficas a utm

Ejemplo resuelto 1

Datos:

$$\varnothing = 15^{\circ}17'20''$$

$$\lambda = 95^{\circ}10'40''$$

Solución:

$\varnothing = 15^{\circ}17'20''$	$P = 0.7840$	$\lambda = 95^{\circ}10'40''$
$IV' = 298239.015$	$P^2 = 0.614656$	$\lambda_0 = 93^{\circ}00'00''$
$IV'' = -7.85$	$P^3 = 0.481890$	$\Delta\lambda = 2^{\circ}10'40''$
$\Delta^2IV = 0.003$	$P^4 = 0.3778$	
$IV = 298,231.168$		$I' = 1,689,560.744$
$V' = 101,286$		$II'' = 614.45$
$V'' = -0.0142$		$I = 1,690,175.19$
$V = 101.27$	$II' = 1,905.646$	
$IVP = 233,813.23$	$II'' = 0.6266$	
$YP^3 = 48.801$	$II = 1,906.212$	
$B5 = 0.013$	$III = 1.731$	$IIP^2 = 1,171.70$
$E' = 233,862.4116$		$IIIP^4 = 0.65398$
$FE = 500,000$		$A6 = 0.0004$
$E = 266,137.54$		$N = 1,691,347.5494$

Resultado:

$$\begin{array}{lll} \varnothing = 15^{\circ}17'20'' & \lambda = 95^{\circ}10'40'' & \text{Coordenadas Geográficas} \\ E = 266,137.54 & N = 1,691,347.5494 & \text{Coordenadas UTM} \end{array}$$

2.14. Ejemplo resuelto de transformación de coordenadas utm a geográficas

Formulas:

$$\theta = \theta' - (\text{VII}) q^2 + (\text{VIII}) q^4 - D_6$$

$$\Delta\lambda = (\text{IX}) q - (\text{X}) q^3 + E^5$$

Donde:

$$(\text{VII}) = \frac{\tan \theta'}{2^2 \text{sen} 1''} (1 + e'^2 \cos^2 \theta) \cdot \frac{1}{2} \cdot 10^{12}$$

$$(\text{VIII}) = \frac{\tan \theta'}{24^4 \text{sen} 1''} (5 + 3 \tan^2 \theta + 6e'^2 \cos^2 \theta - 6e'^2 \text{sen}^2 \theta - 3e'^4 \cos^4 \theta$$

$$- 9e'^4 \cos^2 \theta \text{sen}^2 \theta) \cdot \frac{1}{4} \cdot 10^{24}$$

$$(\text{IX}) = \frac{\sec \theta'}{\text{sen} 1''} \cdot \frac{1}{k_0} \cdot 10^6$$

$$(\text{X}) = \frac{\sec \theta'}{6^3 \text{sen} 1''} (1 + 2 \tan^2 \theta + e'^2 \cos^2 \theta) \cdot \frac{1}{3k_0} \cdot 10^{18}$$

$$q = 0.000001 X'$$

$$D6 = q6 \frac{\tan \theta}{720^6 \text{sen}^1} (61 + 90 \tan^2 \theta + 45 \tan^4 \theta + 107e'^2 \cos^2 \theta$$

$$- 162e'^2 \text{sen}^2 \theta - 45e'^2 \tan^2 \theta \text{sen}^2 \theta) .1/6ko . 10^{36}$$

$$E5 = q5 \sec \theta' (5 + 28 \tan^2 \theta + 24 \tan^4 \theta + 6e'^2 \cos^2 \theta + 8e'^2 \text{sen}^2 \theta)$$

$$1/5ko. 10^{30}$$

Ejemplo resuelto 2:

E = 368,725,478	q = 0.131274522	
FE = 500,000.00	q ² = 0.017233	
E' = 131,274,522	q ³ = 2.2622x10-3	IX min. = 33591.927
	q ⁴ = 2.969763x10-4	IV seg. = 1.28
		Δ ² X = 0.0000
XIII min. = 715.709	Ø = 15°40'28.35"	IX = 33,593.20
VII = 0.377622		X min. = 160,190
VI = 716.08		X seg. = 0.02891
VI q ² = -12.3402		X = 160.22
VIII = 7.68	VI q ² = 0°0'-12.34"	
	VII q ⁴ = 0.002280'	
	D6 = 0	
	Ø = 15°40'16.01"	

$$l_{xq} = 4,409.93$$

$$X_{q^3} = -0.36$$

$$E_s = 0.000$$

$$\Delta\lambda' = 4,409.40$$

$$\Delta\lambda = 1^\circ 13' 29.27''$$

$$\lambda_0 = 93^\circ 00' 00''$$

$$\lambda = 94^\circ 13' 29.57''$$

Resultado:

$$\varnothing = 15^\circ 40' 16.01'' \quad \lambda = 94^\circ 13' 29.57'' \quad \text{Coordenadas Geograficas}$$

2.15. Ejemplos resueltos por pasos.

Transformación de Geográfica a UTM.

Datos:

Latitud $15^\circ 17' 20''$ N

Longitud $95^\circ 10' 40''$ O

La longitud de 95 grados pertenece a la zona 15 con el meridiano central en 93 grados.

Diferencia entre 2 y 3

$$92^\circ 59' 60.0''$$

$$\underline{95^\circ 10' 40.0''}$$

$$2^\circ 10' 40'' = 4$$

Para obtener “p” se convierte 4 a segundos y se multiplica por 0.0001.

Por lo tanto:

$$\begin{array}{rcl}
 2^\circ & = & 2 \cdot 60 \cdot 60 = 7,200.0'' \\
 10^\circ & = & 10 \cdot 60 = 600.0'' \\
 & & \underline{40.0''} + \\
 & & 7,840''
 \end{array}$$

$$P = 0.0001 \cdot 7,840.00$$

$$P = 0.7840$$

$$P^2 = 0.614656$$

$$P^3 = 0.481890$$

$$P^4 = 0.377802$$

Para hallar los valores de I, II, III, IV se utilizan las tablas del apéndice C.

Usando la columna de obtiene

Para 15°17'	1,689,560.744	I'
-------------------	---------------	----

Para interpolar los segundos se

Multiplica dif. 1" por los segundos

20*30.72289.....	614.4578	I''
------------------	----------	-----

Suma algebraica de I' + I''

1,690,175.19	I
--------------	---

Usando la columna II se obtiene

Para 15°17'	1,905.646	II'
-------------------	-----------	-----

Se multiplica la dif. 1" por los

Segundos 0.03121 * 20"	0.6266	II''
------------------------------	--------	------

Suma algebraica de II' + II'' 1,906.212 II

Usando la columna III se obtiene

Para 15°17' 1.731 III

Para los demás datos es solo multiplicar datos y seguir instrucciones

Se multiplica II por P²

IIP² = 1,906.212 * 0.614656 1,171.70 IIP²

Se multiplica III por P⁴

IIIP⁴ = 1.731 * 0.377802 0.65398 IIIP⁴

Para obtener el valor de A₆, se

Busca el valor de 2°10'40'' en el lado

Izquierdo de la grafica y se lee el valor de

A₆, en el lado derecho 0.0000 A₆

La suma algebraica de I, IIP², IIIP⁴, A₆

Y esta representa la distancia en metros

Desde el ecuador hasta el punto en la

Cuadrícula. La coordenada norte es:

(I)	1,690,175.19	
(IIP ²)	1,171.70	
(IIIP ⁴)	0.65398	
(A ₆)	<u>0.0000</u>	
	1,691,347.5494	N

Usando la columna IV se obtiene para 15°17'	298,239.015	IV'
Se multiplica la dif. 1'' por los Segundos $-0.39617 * 20$	-7.35	IV''
Se obtiene el valor de IV para 20'' Como estos están mas próximos a 40' el valor es	0.003	Δ^2IV
Se suman algebraicamente IV', IV'', Δ^2IV para obtener	298,231.168	IV
Usando la columna V se obtiene para 15°17'	101.286	V'
Se multiplica la dif. 1'' por los segundos $-0.00072 * 20''$	-0.0142	V''
se suman algebraicamente V', V''	101.27	V
se multiplica IV por P IVP = $298,231.168 * 0.44842$	233,813.23	IVP
Se multiplica V por P ³ VP ³ = $101.27 * 0.481890$	48.801	VP ³

Usando 2°10'40'' se obtiene el valor de B₅ en el grafico. Las líneas verticales representan la latitud con divisiones de 10'. Las líneas horizontales corresponden a los valores de B₅ por cada 0.002 unidades y las líneas inclinadas corresponden a 2°10'40'' en el lado izquierdo.

La línea para $2^{\circ}10'40''$ cruza la línea de $15^{\circ}17'$ en el valor de B5 (figura xxx). Siempre se busca el valor de la línea horizontal (B_5) donde la línea inclinada ($\Delta\lambda$) cruza la línea vertical (θ)

$$B_5 = 0.013$$

Para el valor de E' es la suma de IVP, VP3, B5 y representa la distancia perpendicular en metros desde el meridiano central. El

negativo, si 2 es mayor que 3	233,862.4116	E'
falsa abscisa utilizada en UTM	500,000	fe
“E” es la coordenada Este de la cuadrícula, se suman algebraicamente E' , fe	266,137.54	E

Transformación de UTM a Geográfica.

Datos:

Norte	1,732,829.654	m.	1
Este	368,725.478	m.	2
Zona	15		

A diferencia de la transformación anterior en esta se debe indicar la zona a la cual pertenecen las coordenadas, porque estas pueden pertenecer a cualquier zona.

Falsa abscisa	500,000.000	3
---------------	-------------	---

Diferencia entre 3 y 2

500,000.000	
<u>-368,725.478</u>	
131,274.522	4

para obtener “q” se multiplica 4 por 0.000001

$$q = 131,274.522 * 0.000001$$

$$q_2 = 0.131274522 \quad 5$$

$$q_3 = 0.017233 \quad 6$$

$$q_4 = .0022622 \quad 7$$

$$q = 0.0002969 \quad 8$$

Para obtener ϕ' se utiliza la columna I y la coordenada norte 1. Tabulando la coordenada norte en I, el valor inferior mas cercano es 1,731,958.532 que corresponde a una latitud de $15^0 40'$.

$$\begin{array}{r} 1,732,829.654 \\ \underline{1,731,958.532} \\ 871.122 \end{array}$$

Dividiendo la diferencia de la coordenada norte con el valor hallado en I, por la diferencia de un segundo, se obtienen los segundos de $0'$.

$$\begin{array}{r} \underline{871.122} = 28.35'' \\ 30.72361 \end{array}$$

o sea:

$$\phi' = 15^0 40' 28.35''$$

9

usando la columna VII se obtiene para 15° 40'	715.709	10
para 15° 40''		
para interpolar los segundos se multiplica		
dif. 1'' por los segundos 0.01332 * 28.354	0.378	11
sumando 10 y 11	716.086	12
multiplicando 12 por 6		
$-VIIq^2 = -716.086 * 0.017233$	-12.340''	13
usando la columna VIII se obtiene para 15° 40'	7.680	14
convirtiendo 13 grados , minutos y segundos	-0° 0' 12.340	15
multiplicando 14 por 8		
$VIIIq^4 = 7.680 * 0.0002969$	0.002''	16
Para obtener el valor de D ₆ , se busca el valor		
De "q" en el lado izquierdo de la grafica y se lee		
El valor derecho	0.000	17

La suma de 9, 15, 15 y 17 representa la latitud
Del punto considerado:

9	$\phi' = 15^0 40' 28.35''$	
15	$-VIIq^2 = -12.340''$	
16	$VIIIq^4 = 0.0002''$	
17	$D_6 = \frac{0.000''}{15^0 40' 16.016''}$	18

usando la columna IX se obtiene para 15° 40'	33,591.927	19
se multiplica la dif. 1" por los segundos $0.04542 * 28.354$	1.288	20
para la latitud de 15 a 16, el valor de (IX) es cero	0.000	21
se suman algebraicamente 19, 20 y 21 para obtener IX	33,593.215	22
Usando la columna X se obtiene para 15° 40'	160.190	23
Se multiplica la dif. 1" por los segundos $0.00102 * 28.354$	0.029	24
Sumando 23 y 24 se obtiene X	160.219	25
Multiplicando 22 por 5		
$Ixq = 33,593.215 * 0.131274522$	4,409.93	26
Multiplicando 25 por 7	-0.36	27
Hallando el valor de E_5 , de la misma forma en que se hallo B_5 en el ejemplo anterior, para $q=0.131$	0.00	28
$\Delta\lambda$ es suma de 26,27,28 y representa la distancia en segundos del punto considerado al meridiano central	4,409.57"	29
Convirtiendo 29 a grados, minutos y segundo	1° 13' 29.57"	30
Meridiano central de la zona 15	93°	31

Debido a que el punto considerado se encuentra al este del meridiano central, ya que la coordenada este es menor de 500,000.000 m., debe sumarse al meridiano central

$$\begin{array}{r}
 93^{\circ} 00' 00.00'' \\
 + \underline{1^{\circ} 13' 29.57''} \\
 94^{\circ} 13' 29.57'' \qquad 32
 \end{array}$$

Hallando el valor de l convergencia "C" :

$$C = (XV)q + (XVI)q^3 + F_5$$

Tabulando XV para 15° 40' 9,071.18

Dif. 1" por los segundos 0.1691 * 28.354 4.79 +
 XV = 9,075.97

Tabulando XVI para 15° 40' 79.70

Hallando el valor de f5 en la grafica para q = 0.131 0.00

Tenemos:

$$C = 9075.97 * 0.1312745 + 79.70 * 0.002262 + 0.00$$

$$C = 1,191.62$$

$$C = 19' 51.62''$$

Usando la ecuación directa (60), tenemos:

$$C = (1 * 60 + 13 + 29.57/60) \text{ sen } (15^\circ 40'28.35'')$$

$$C = 19.8558' = 19' 51.35''$$

Hallando el factor de escala "k" :

$$k = k_0 (1 + 0.012372 * q^2 + 0.00003 * q^4)$$

$$k = 0.9996(1 + 0.012372 * 0.0172323 + 0.00003 * 0.0002969)$$

$$k = 0.99981$$

El valor de "k" tiene un valor Este de 631,274.522 m.

3. GEODESIA

La geodesia tiene por objeto el estudio de la forma y dimensiones de la tierra, ocupándose principalmente de su medida. Estos datos deben estar referidos a un plano horizontal, así mediante diversos sistemas se obtienen los fundamentos de la cartografía.

Para facilitar este estudio se establecen varios puntos fijos sobre la superficie terrestre, denominados “vértices geodésicos”, la unión de estos puntos determina las redes geodesias que serán de primer orden cuando superan los 50 Km. Entre ellos, de segundo orden con una separación de 25 Km., y de tercer orden de 3 a 10 Km. la superficie abarcada en estas triangulaciones es lo suficientemente pequeña como para despreciar los errores que se presentan por la curvatura de la tierra.

El estudio de la tierra también se realiza considerando diferentes aspectos lo que da lugar a otras ciencias. Así la geología trata de su constitución exterior e interior y de los cambios que en ella se producen en el transcurso del tiempo, por la acción de los agentes externos e internos.

3.1. Figura y superficies de la tierra.

Hemos definido a la geodesia como la ciencia que tiene por objeto el estudio de la forma y dimencionamiento de la tierra y para conseguirlo se eligen en la superficie, objetos de estudio, puntos distribuidos por toda ella, denominados geodésicos, cuya posición se ubica en lugares estratégicos dada la forma de un territorio o de todo el globo.

Hasta ahora, se ha considerado que la tierra es redonda y mas precisamente esférica. Para muchas cuestiones no hay inconvenientes en admitirlo así, es mas, ya dijimos que incluso en topografía se supone “plana” al considerarla en pequeñas extensiones. Pero en geodesia no es aceptable este concepto de la esfericidad.

La Geodesia como ciencia, con métodos propios de gran precisión, es muy moderna. El método clásico de la geodesia matemática para determinación la forma de la tierra consiste en la medición de arcos de meridiano o paralelo, para investigar después a que superficie corresponde o se adaptan mejor esta medidas.

La primera medición de arco de meridiano de alguna garantía fue la efectuada en Francia por Picard, que midió el arco de meridiano comprendido entre Malvoisin y Amiens. Esta medición tuvo gran trascendencia, pues el valor del radio terrestre deducido le permitió a Newton emitir su famosa ley de gravitación universal, descubierta con anterioridad, pero que no se había decidido a publicar por existir discordancia entre la teoría y los resultados obtenidos, debido a haber empleado en sus cálculos un valor erróneo del radio terrestre.

En aquella época el astrónomo holandés Richer, durante un viaje científico a Cayena (1672), observó que para su reloj siguiese recorriendo los segundos era preciso acortar el péndulo en una línea y tres cuartos (unos cuatro milímetros).

Esta variación en la atracción en el péndulo, fue la disminución de la gravedad en el Ecuador probada que en él era mayor la distancia al centro; es decir, que acusaba un ensanchamiento, y esta consideración le llevó a emitir la teoría de que la tierra era un elipsoide de revolución, cuerpo engendrado al girar una elipse alrededor de uno de sus ejes, en este caso el eje menor.

Entre los que efectuaron el estudio de esta medición del meridiano de Picard estaba Cassini, quien basándose en sus cálculos, llegó a la conclusión de que la figura de la tierra era la de un elipsoide alargado en el sentido del eje de rotación, en manifiesta oposición con la teoría de Newton, que explicaba la observación de Richer.

La polémica científica entre Newton y Cassini y los partidarios de uno y otro, se resolvió con las expediciones enviadas por la Academia Francesa a Laponia y Perú(de esta última formaron parte los marinos españoles Jorge Juan y Ulloa).

En dichas expediciones se comprobó que el grado de meridiano medido en Perú (cerca del ecuador) era de menor longitud que el medido en Laponia(cerca del Polo), resultados que corresponden a un elipsoide achatado en el sentido del eje de rotación y que confirman la teoría sustentada por Newton.

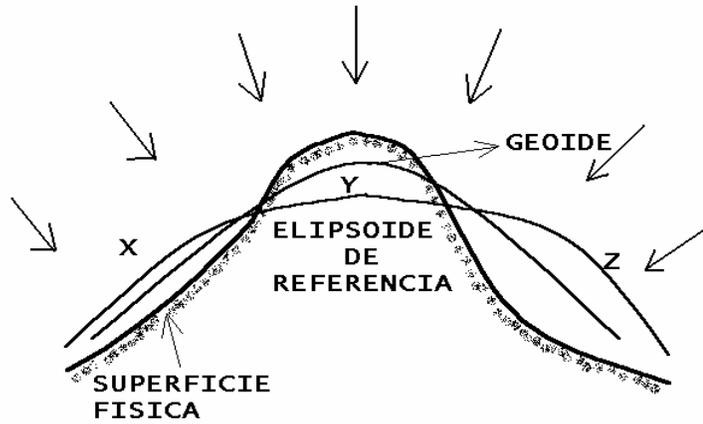
Se había pasado así del concepto de la tierra esférica al de un elipsoide de revolución achatado por los polos, superficie mas próxima a la verdadera. La teoría de Newton fue el origen de la geodesia dinámica, que es la verdadera forma de la tierra, basándose en mediciones de la gravedad en numerosos puntos de ella.

La verdadera forma de la tierra es la que se denomina geoide y que puede definirse como la superficie normal en todos sus puntos a la dirección de la gravedad, materializada por el hilo en tensión de la plomada.

La superficie del geoide coincide aproximadamente con la de las aguas oceánicas, supuestas tranquilas y prolongadas imaginariamente por debajo de los continentes y considerando nula la influencia de la atracción de la luna, el sol, corrientes marinas, etc.

Como la dirección de la plomada esta influida por la irregular repartición de las masas en el interior de la tierra y la superficie del geoide es en todos sus puntos normales a esta, se comprende que vendrá afectada de las mismas irregularidades y por consiguiente presentara ondulaciones como indica la figura 30.

Figura 30. **Figura y superficies de la tierra.**



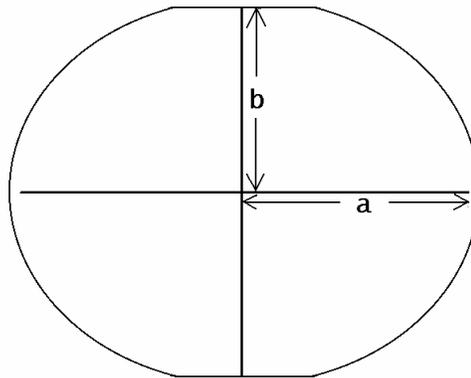
Por lo dicho anteriormente, se deduce que la figura ideal del geoide no es una superficie expresable matemáticamente y no es apta para resolver sobre ella los problemas de la geodesia; por ello, se recurre a sustituirla por otra que satisfaga estas condiciones y cuya forma difiera lo menos posible de ella; esta figura es la del elipsoide de revolución alrededor de su eje menor, que estará unas veces por encima y otras por debajo del geoide (ver figura 30), la línea X, Y, Z, representa una sección de dicho elipsoide.

Adoptado un elipsoide, se refiere a este la superficie del geoide, ya que la Geodesia da medios para medir la distancia entre las dos superficies; por esta razón se le denomina elipsoide de referencia.

Son muchos los elipsoides calculados, pues cada nación eligió el que mejor se adaptaba a la parte del geoide correspondiente a su territorio, o el que creía mas correctamente calculado.

En España para su red geodésica, se utilizó el de Struve, cuyas dimensiones son (ver figura 31), semieje mayor $a = 6,378,298$ metros, con un aplanamiento o achatamiento igual a:

Figura 31. **Diagrama de geoide.**



$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{295}$$

Mientras en las demás naciones se han adoptado otros elipsoides ligeramente diferentes.

En los países de la Europa Central se empleó para estudios geodésicos el elipsoide de Bessel, de dimensiones $a = 6,377,397$ m. $\alpha = 1 / 299$ en Inglaterra ha servido el de Clarke (1866), en el que $a = 6,378,207$ m., con $\alpha = 1 / 295$, y Francia se tomó el de Clarke (1880), con $a = 6,378,249$ m. Y $\alpha = 1 / 293$.

De este modo, al utilizar cada país distintas superficies de referencia, se dificulta un estudio de conjunto, lo que hizo nacer la unión geodésica y Geofísica Internacional, y en su asamblea general celebrada en Madrid, en 1924, se reviso el acuerdo de recomendar, para los trabajos de Geodesia que hubieran de ejecutarse en lo sucesivo en todo el mundo, la adopción, como superficie de referencia, del elipsoide de Hayford (1909), designado desde entonces con el nombre de elipsoide internacional, de dimensiones a 0 6,356,912 metros y $\epsilon = 1 / 297$. a este elipsoide ya se reficrueron los trabajos de triangulación de primer orden de las Islas Canarias, de Sáhara, y de la Guinea.

No obstante, la dificultad de cambiar de elipsoide en los trabajos ya realizados, por laborioso de los cálculos que esto lleva consigo, obliga a seguir empleando distintos elipsoides.

En todas las aplicaciones de la topografía usual se considera, para mayor parte sencillez y con suficiente aproximación, la tierra como esférica con radio R, igual a la media de los valores de los semiejes del elipsoide que se emplee.

3.2. Principios relativos a los levantamientos geodésicos.

Antes de entrar en la parte meramente descriptiva de los métodos geodésicos vamos a exponer como se llevan a cabo las correcciones de “esfericidad” y “refracción” en altimetría, cuya incidencia es también muy grande en topografía.

Ya dijimos anteriormente que la topografía se limitaba a la representación de zonas de pequeña extensión, en las cuales podía considerarse de la tierra como plana.

La determinación de los límites dentro de los cuales puede aceptarse esta hipótesis no puede ser objeto de estas lecciones, basta decir que en planimetría puede fijarse dicho límite en varias decenas de kilómetros, por muy pequeños que sean los errores máximos que se admitan.

En cambio en altimetría no puede prescindirse de la esfericidad de la tierra, ni de los fenómenos de refracción de la luz, para límites mucho mas reducidos, pues a partir de distancias de un kilómetro se producen errores que ya no son despreciables y que aumentan rápidamente.

El concepto de cota o altura sobre un plano de referencia, se sustituye por el de altitud, o altura de los puntos de la superficie terrestre respecto a otra referencia; como ya sabemos en topografía esta superficie puede considerarse, sin gran error, como esférica.

Por ello cuando la distancia entre los puntos rebasa el limite fijado, varias formulas conocidas, no son exactamente aplicables, debiéndose introducir en ellas una corrección, denominada de “esfericidad”.

También, a medida que aumenta la distancia, se hace mas acentuado el fenómeno de refracción de la luz en la atmósfera, y para corregir su influencia es necesario introducir en las mismas fórmulas otra corrección llamada “refracción”.

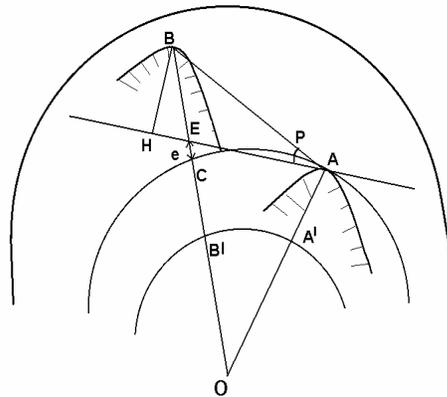
3.2.1. Corrección de Esfericidad.

Sea (ver figura 32) A'B' la superficie esférica de referencia, A' y B' dos puntos de la superficie física terrestre y AH la horizontal que pasa por A. Si hacemos estación en A y quisiéramos determinar la diferencia de nivel entre A y B, midiendo "P", ángulo de pendiente o "V", distancia zenital, y calculando D, tendríamos:

$$Z * B/A = D.tgp = HB,$$

Prescindiendo de \underline{i} y de \underline{m} , para mayor sencillez.

figura. 32. Corrección de esfericidad.



Las altitudes de A y B respecto a la superficie de referencia son A'A y B'B respectivamente, y, por tanto, la verdadera diferencia de nivel entre ellos será:

$$Z * \underline{B} = B'B - A'A = B'B - B'C = CB$$

A

Se comete, por tanto, un error al prescindir de la esfericidad de la tierra, puesto que no son iguales HB y CB, y si diferencia es:

$$CB - HB = (CE + EB) - HB$$

En el triangulo rectángulo BHE, debido a la pequeñez del ángulo en B, pueden considerarse iguales EB y HB; por lo que la expresión anterior puede escribirse:

$$CB - HB = (CE + EB) - HB = CE$$

Esta corrección de esfericidad $e = CE$, es siempre positiva; hay que sumarla algebraicamente a las diferencias de nivel para obtener las diferencias de nivel verdaderas y tienen el valor.

$$e = \frac{D^2}{2R}$$

En la que D es la distancia horizontal entre los puntos A y B, y "R" el radio de la tierra.

En efecto: en el triangulo rectángulo AEO, se verifica:

$$(OE)^2 = (AE)^2 + (OA)^2$$

o bien, puesto que

$$OE = OC + CE$$

Será:

$$(OC + CE)^2 = (AE)^2 + (OA)^2$$

desarrollando el primer miembro de la igualdad, se tiene

$$(OC)^2 + 2.0 CE + (CE)^2 = (AE)^2 + (OA)^2$$

pero $OC = OA$, luego la igualdad anterior queda reducida a la siguiente:

$$2.00 CE + (CE)^2 = (AE)^2$$

suponiendo ahora $AE = D$ (al ser EH despreciable con respecto a AH).

Sustituyendo estos valores, se tendría:

$$2(R+ZA)e + e^2 = D^2$$

y prescindiendo de e^2 , que es muy pequeño, así como también de ZA , respecto a R , la igualdad anterior queda reducida a:

$$2Re = D^2 ; \text{ de donde } e = D^2 / 2R$$

que es la expresión indicada anteriormente.

Utilizando esta formula se ha calculado el siguiente cuadro para un valor del radio terrestre, $R = 6,370 \text{ Km.}$:

Tabla II. **Correccion de esfericidad**

D	e
300 m.	0.007 m.
400 m.	0.013 m.
500 m.	0.020 m.
1,000 m.	0.078 m.
2,000 m.	0.314 m.
3,000 m.	0.706 m.
4,000 m.	1.256 m.
5,000 m.	1.962 m.
10,000 m.	7.849 m.

Como se observa en la tabla 2, para distancias superiores a 1,000 m. La corrección de esfericidad, crece muy rápidamente, por lo que no puede prescindirse de ella, según se había indicado, en el calculo de las diferencias de nivel entre puntos separados mayor distancia.

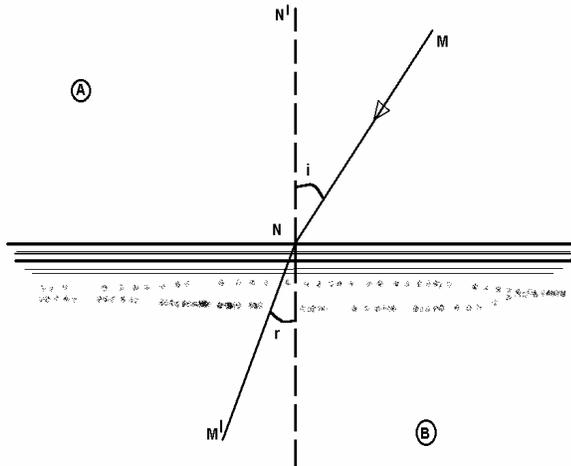
3.2.2. Corrección de refracción.

Como es sabido, un rayo luminoso al pasar de un medio a otro de mayor densidad sufre una desviación que le acerca a la normal. Este fenómeno se conoce con el nombre de refracción.

Si el rayo luminoso es perpendicular a la superficie de separación de ambos medios, no sufre desviación alguna y sigue su marcha en línea recta, a través del otro medio en que penetra.

Sea MN (ver figura 33) un rayo luminoso que pasa del medio A (aire, por ejemplo) al B (agua) e incide oblicuamente sobre la superficie de esta; por penetrar en un medio de mayor densidad, sufre una refracción, continuando en la dirección NM' a través del agua, y se aproximan a la normal.

figura 33. **Corrección de refracción.**



El ángulo “i”, formado por el rayo incidente y la normal NN’, a la superficie de separación, se llama ángulo de incidencia, y el “r”, que forma la nueva dirección con aquella, se le llama ángulo de refracción.

El fenómeno luminoso se verifica con arreglo a las leyes siguientes:

- a. El rayo incidente, el refractado y la normal están en un mismo plano, cualquiera que sea el ángulo de incidencia.
- b. Para cada dos medios, la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y de refracción es constante: $\text{sen } i / \text{sen } r = \text{Cte}$. Esta relación constante se llama “índice de refracción” del segundo medio, B, respecto al primero A.
- c. Cualquiera que sea la marcha del rayo y las refracciones que sufra la trayectoria luminosa, el fenómeno se repetirá exactamente invirtiendo el sentido de la propagación. Esta propiedad se conoce con el nombre de “reversibilidad” de los rayos luminosos.

En la misma figura se ha considerado el rayo luminoso que, procedente del aire, incide sobre el agua.

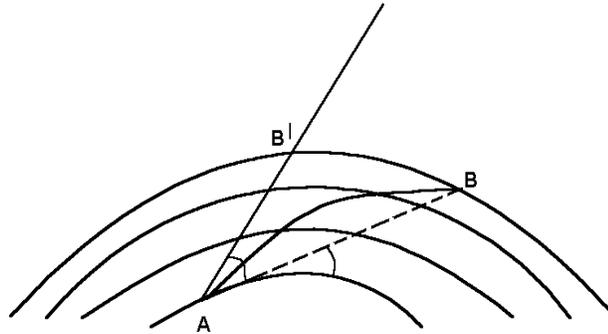
Por el principio que acabamos de anunciar, de la reversibilidad, puede suponerse la propagación del rayo en sentido contrario, es decir, según la trayectoria $M'NM$.

En ambas hipótesis, la magnitud de los ángulos “ r ” e “ i ” es invariable; únicamente cambiará su denominación al cambiar su denominación al cambiar el sentido de propagación; así, en la segunda hipótesis, el ángulo de incidencia sería el “ r ” de la primera, y el de refracción, el que llamamos antes de incidencia “ i ”.

Esta observación permite deducir: que si un rayo pasa de un medio a otro de mayor densidad, el rayo refractado se desvía “aproximándose a la normal”; y si pasa de un medio mas denso a otro de menos densidad, la desviación se verifica “alejándose de la normal”.

Dicho esto, se puede suponer la atmósfera terrestre como una sucesión de capas de aire de densidad creciente al aproximarse a la superficie en la tierra, por lo que un rayo luminoso (ver figura 34) procedente de un punto B sufre refracciones sucesivas en las indicadas capas, y como consecuencia de ellas, presenta la forma de una curva cóncava hacia el suelo.

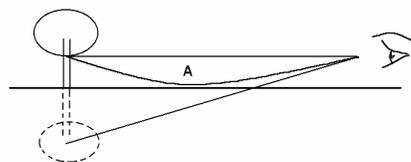
figura 34. **Rayo de luz.**



Para un observador situado en A aparece dicho rayo como procedente de un punto B', situado mas alto que B y precisamente en la dirección de la tangente en A a la trayectoria AB, seguida por el mismo.

En el desierto y durante las horas de sol, las capas de aire menos densas son las mas próximas a la superficie terrestre, debido a ello la curvatura es al revés, es decir, el rayo luminoso presenta la forma de una curva convexa hacia el suelo (ver figura 35), produciéndose el fenómeno conocido con el nombre de "espejismo". Como si en A, hubiera una superficie líquida.

figura 35. **Espejismo.**



Por razonamientos análogos a los indicados al tratar de la corrección de esfericidad, se obtiene para la refracción el valor:

$$r = \frac{D^2}{6.25 \times 2R}$$

Esta corrección es siempre negativa, ya que la refracción eleva aparentemente los objetos observados, y como es 6.25 veces menor que la de esfericidad, la corrección total (e-r) será siempre positiva.

La formula que da la diferencia de nivel entre dos puntos, con las correcciones de esfericidad y de refracción será:

$$Z \times B / A = \pm D (\text{tg. } P / \text{cot. } V + l - m + (e - r))$$

Existen tablas que dan la corrección (e-r) en función de la distancia D y de la época en que se han efectuado las observaciones, pues la refracción varia con las condiciones de presión, humedad, temperatura, etc., de la atmósfera.

En trabajos topográficos se adopta el valor medio:

$$e - r = 0.42 D^2 / R$$

Que se obtiene de la siguiente manera:

$$e = D^2 / 2R \text{ y } r = \frac{D^2}{6.25 \times 2R}, \text{ de donde,}$$

$$e - r = D^2 / R (1/2 - 1/6.25 \times 2) = D^2 / R (\frac{1}{2} - 1/12.5)$$

$$e - r = D^2 / R * 10.5 / 25 ; e - r = 0.42 D^2 / R$$

otro valor de $e - r$, poco riguroso pero fácil de recordar y calcular es el siguiente:

si en $C = e - r = 0.42 D^2 / R$, hacemos $R = 6,300,000$ m. Tenemos:

$$C = e - r = 0.42 D^2 / 6,300,000 = D^2 / 15,000,000 = (D / 4,000)^2$$

Que expresando D en Km., queda: $C = (D \text{ Km.} / 4)^2$, es decir, la corrección total, expresada en metros, es el cuadrado de la cuarta parte de D , expresada en kilómetros.

Aplicando esta última fórmula vemos que cuando se trata de puntos separados por pequeñas distancias inferiores a 400 metros, la corrección es despreciable, ya que,

$$C < (0.4 / 4)^2 = 0.1^2 = 0.01 \text{ metros.}$$

A partir de este límite, no puede prescindirse de corregir las diferencias aparentes de nivel proporcionadas por los aparatos, ya que aquella corrección alcanzara valores considerables. Por ejemplo, si $D = 4$ Km. $C = (4 / 4)^2 = 1$ metro, siendo así que las diferencias de nivel se suelen obtener con aproximaciones de centímetros.

Se ha de tener en cuenta, que si bien la refracción varía constantemente, estas variaciones son mucho mas acentuadas en las horas en que el sol esta próximo al horizonte; es decir, a la salida o puesta del mismo; por ello, se procurará no efectuar observaciones de ángulos verticales en las primeras horas de la mañana, ni en las últimas de la tarde.

Cuando en una estación tengan que hacerse observaciones acimutales y verticales, que se presume, han de ocupar un periodo grande de tiempo, si es por la mañana, se hará en primer lugar la medida de los ángulos acimutales y después la de los verticales; invirtiendo el orden de las observaciones por la tarde y no haciendo ningún tipo de observaciones en las horas centrales del día.

3.3. Métodos geodésicos.

Estando situados los puntos geodésicos sobre la superficie terrestre, habrán de tener cierta altura sobre el elipsoide de referencia. La geodesia calcula las coordenadas referentes a su proyección sobre dicha superficie, obteniéndose, además, como dato complementario, la altura sobre el nivel del mar.

Pero aún precisa la geodesia una determinación mas, referente a la orientación, obteniéndose en cada punto la dirección N. – S., intersección del plano horizontal (tangente al elipsoide) con el plano meridiano, línea que recibe el nombre de meridiana y cuya situación se determina por el ángulo que forma con una dirección dada del terreno que pasa por el punto; a este ángulo, comprendido entre 0 y 360^0 , medido a partir de la meridiana desde el S. Y hacia el O., se le denomina acimut de la citada dirección.

La longitud y la latitud relativas a cada punto geodésico y acimut de una dirección que pase por él pueden obtenerse por dos métodos esencialmente diferentes, dando origen a dos ramas de la geodesia, denominadas astronomía geodesia de posición y geodesia matemática.

Por el primer método se obtienen las coordenadas geográficas y dirección de la meridiana por observaciones astronómicas; en el segundo, que es el mas preciso y por lo mismo el utilizado, se llega al resultado por medio de las llamadas triangulaciones, uniendo entre si puntos geodésicos por medio de visuales que vengan a formar sobre el elipsoide una malla de triángulos que cubran todo el territorio, razón por la cual a los puntos geodésicos, en este caso, se les da el nombre de vértices.

En estos triángulos se miden con el mayor rigor sus tres ángulos, utilizando instrumentos de gran precisión, y además se mide directamente, con extraordinaria minuciosidad, un solo lado situado hacia el centro de la nación, al que se le denomina base, que constituye el fundamento de toda la geodesia de país. A partir de la base se calculan estos triángulos elipsoídicos apoyándose unos en otros, sirviendo de base de cada uno el lado común con el triangulo precedente previamente calculado.

Para la obtención de las coordenadas geográficas y acimutales se parte de los de un vértice denominado punto astronómico fundamental, en el que se determinan la longitud, latitud y dirección de la meridiana con el máximo cuidado y rigor por métodos exclusivamente astronómicos.

En los demás vértices se obtienen sus coordenadas y también los acimutales escalonadamente, por cálculos sobre el elipsoide, una vez conocidos los ángulos de los triángulos y deducidas las longitudes de sus lados.

3.4. Redes geodésicas.

Estos trabajos geodésicos han de ser, no ya de extremada precisión, sino que en las operaciones fundamentales se exige llegar a la precisión máxima, haciendo uso de cuantos medios nos proporcione la ciencia y aun la paciencia; de aquí que los triángulos, de que acabamos de hablar, no constituyen una malla única para evitar la acumulación de errores que se obtendría al calcular cada uno apoyándose en el anterior, sino que forman tres sucesivas, cada vez mas densas, denominadas redes o triangulaciones de primero, segundo y tercer orden, respectivamente.

La red geodésica de primer orden esta constituida por grandes triángulos de lados ordinariamente comprendidos entre los 30 y 70 kilómetros, pudiendo llegar, aunque por excepción, a mas de 200.

Un ejemplo es el mayor lado geodésico de Europa es el de Mulbacen (sierra Nevada) – Filhaussen (Argelia), del enlace de España y África efectuado en 1879, que alcanzo 270 kilómetros.

Posteriormente, en 1931 y 1932, se prolongo hasta la costa norte de Marruecos el enlace efectuado en el siglo pasado, con visuales que llegaros a 258 kilómetros, y en triangulación de primer orden de las islas canarias (1922-1930) también hubo visual que rebaso los 250 kilómetros.

Si la nación es de gran extensión, como ocurre en España, no se constituye desde el primer momento una malla continua, sino que se forman cadenas de triángulos a lo largo de los meridianos, cortadas perpendicularmente por otras cadenas, llamadas de paralelo, limitando una y otras grandes espacios denominados cuadriláteros.

Posteriormente, apoyándose en las cadenas, se rellenan estos cuadriláteros con triángulos también de primer orden, observados ya con menor número de precauciones que el de las exigidas para las cadenas.

En la triangulación de España existen cuatro cadenas de meridiano: las de Salamanca, Madrid, Pamplona y Lérida, y tres de paralelo: las de Palencia, Madrid y Badajoz, con otras tres cadenas de costa: Norte, Este y Sur, dejando entre ellas 19 cuadriláteros.

Las cadenas fueron calculadas utilizando una base única, medida en Madrileños(Toledo), de 14,622,885 metros, con precisión tal que el error probable fue tan solo de 2,508 milímetros o 1:5,850,000 de la longitud medida. Se utilizaron también bases periféricas, de 2 a 2 kilómetros, que sirvieron para la comprobación de todo el trabajo. Estas fueron cinco, situadas en Lugo, Clite (Navarra), Vich (Barcelona), Cartagena (Murcia) y Arcos de la Fortera (Cádiz).

La triangulación de segundo orden forma una red uniforme repartida apoyada en la de primer orden, con una longitud de los lados de los triángulos variable de 10 a 25 kilómetros. Que esta distribuida de modo que todos los vértices de primer orden lo sean también de segundo.

A su vez, el tercer orden se apoya en la red de segundo, con lados de 5 a 10 kilómetros, utilizándose también como vértices de tercer orden todos los de primero y segundo, las torres de las iglesias de los pueblos son todos vértices auxiliares de tercer orden sin formar parte de la red.

Los triángulos de tercer orden ya se calculan como planos, y el terreno por ellos limitado entra de lleno en el dominio de la topografía.

3.5. Trabajos de campo.

Son trabajos geodésicos de campo, especialmente los de primer orden, de una dificultad tal que solo la perseverancia y el esfuerzo continuo de los observadores son capaces de vencer. Primero, para hacer el proyecto de triangulación se precisan, en los reconocimientos, ásperas ascensiones a los picachos mas altos, y en mas de una ocasión ha sido el geodesta el primer hombre en escalarlo.

Para la observación de los vértices de las cadenas de meridiano y paralelo se exige en varios países reiterar cada visual 48 veces como mínimo, tropezándose con dificultades de visibilidad a tan grandes distancias; a fin de vencerlas se emplean espejos denominados heliotropos que reflejan la luz del sol para las señales diurnas, colomadores y proyectores, para observaciones nocturnas, utilizando los mas perfectos aparatos topográficos que llegan a preciar hasta las 2 décimas de segundo.

A las enormes distancias de las mas largas visuales son tales las dificultades, que en la triangulación de las Islas Canarias hubo alguna, como la de Izaña-muda, en que situado el primer vértice en la isla de Tenerife y el segundo en la fuerte ventura, a 252 kilómetros, se invirtieron mas de tres meses de paciente espera nocturna hasta conseguirse la ansiada visual. Asimismo, para hacer factible el enlace con el continente, fue preciso construir en cabo Jubi una torre metálica de 0 metros de altura, consiguiéndose el éxito después de grandes vicisitudes, por pasar la visual casi tangente a las olas del mar.

La medida de bases ha de hacerse con tal meticulosidad que supera lo imaginable, este tipo de trabajos requiere paciencia y dedicación, debido a las dificultades que se tienen. Las observaciones astronómicas para determinar la longitud y acimut exigen la instalación de observatorios portátiles, prolongándose los trabajos durante meses.

La complejidad de los trabajos disminuye, como es lógico, con el orden geodésico; aun en triangulaciones de primer orden los triángulos que rellenan los cuadriláteros no exigen sino 12 reiteraciones, reduciéndose a 8 los de segundo y a 4 los de tercero, al mismo tiempo que disminuye la precisión de los instrumentos empleados.

No quiere decir esto que los resultados sena menos exactos que en los vértices de primer orden, sino que, dada la menor extensión de los triángulos y al ir encuadrada cada red en la de orden superior, se consiguen análogas exactitudes con menor esfuerzo, de todos modos, aún en los trabajos de tercer orden, se requiere una meticulosidad muy superior a la que nosotros hemos de emplear en topografía.

3.6. Señales permanentes.

Todos los vértices geodésicos quedan señalados en el terreno para que puedan utilizarse en trabajos posteriores aún después de muchos años, señales que han de servir de fundamento para todo trabajo topográfico de alguna extensión.

En los vértices de primer orden se construyen mezon de mampostería, formados por varios cuerpos cilíndricos superpuestos, cada vez de mayor diámetro, terminado en último por un pilar de observación donde se coloca el teodolito y cuyo eje corresponde a la vertical que pasa por el punto del terreno tomado como vértice. El cilindro inferior suele tener un diámetro de unos 3 metros y la altura de la señal es de 5 a 7, quedando toda ella blanqueada de cal para facilitar su visibilidad.

Las señales de segundo orden se componen de uno o varios cuerpos superpuestos de base cuadrada, y sobre el último, de 1.5 metros de lado, se construye el pilar de observación.

Las señales de tercer orden carecen de pilar u observación; son hitos prismáticos, enterrados en parte, de 0.3 metros de lado y 0.7 a un metro de altura, terminados en la parte que queda fuera del terreno por un taladro para colocar una banderola. El fondo del hoyo, en el que ha de quedar el hito, se cubre de carbón para facilitar la identificación en caso de que desaparezca. Después de terminar la observación se cubre el hito con un montón de rocas.

Estas señales de tercer orden, a pesar de ser las que con más frecuencia se utilizan, son, sin embargo, las de menor permanencia, y así no es raro el caso de haber desaparecido. Por esta razón, en varios lugares se van replanteando nuevamente los vértices de tercer orden, construyendo señales semejantes a las de segundo de un solo cuerpo.

3.7. Trabajos de gabinete.

Se denominaran los cálculos que han de realizarse a la terminación del trabajo de campo; consisten estos, por lo que respecta a la medida de bases, en introducir ciertas correcciones como consecuencia: 1º del contraste de los hilos invar a la salida y a la llegada; 2º de la temperatura en el momento de la medida; 3º de la intensidad de la gravedad del lugar, y 4º del desnivel de los extremos de los extremos del hilo en estación, ya que al formar éstos una catenaria aumentará la distancia entre los extremos cuando no estén a nivel.

Además, las medidas obtenidas han de reducirse al horizonte, a la línea recta si la base fuese quebrada, y al nivel del mar.

Para el cálculo de la triangulación de primer orden han de formarse grupos de igual peso con los centenares de visuales dirigidas desde cada vértice para deducir las mas probares en cada estación aislada.

Apoyándose en la base medida se calcula después la red y finalmente a partir del punto astronómico fundamental se deducen escalonadamente las coordenadas geográficas de todos los vértices, estos últimos cálculos que han de realizarse directamente sobre el elipsoide y no sobre la esfera local, como se hace para los triángulos.

Alcanzan los cálculos la máxima compilación en la compensación de la red: los inevitables residuos que quedan después de obtenerse las direcciones más probables, aun después de corregidos como se ha dicho, hacen que no cumplan rigurosamente las condiciones geométricas de la figura y, como consecuencia, se llegaría a resultados diferentes para un mismo punto según el camino que se siga en el cálculo.

Se compensa la red modificando ligeramente los datos, de modo que la figura resulte geométrica, calculándose las correcciones con la condición de que la suma de sus cuadrados sea mínima.

La compensación de una red puede llegar a tal complejidad que sea humanamente imposible llevarla a cabo; pero en nuestros días debido a la tecnología y programas que se diseñan se puede resolver cualquier problema.

4. IMAGEN SATELITAL

La imagen satelital tuvo varias generaciones de las que evoluciono, entre las que tenemos:

4.1. Primera generación.

Han pasado más de 30 años desde que en Estados Unidos, se tomaran los primeros pasos hacia el desarrollo de la capacidad de observar el geoide terrestre desde el espacio. Los primeros indicios de que la percepción remota tenía algo que ofrecer a la oceanografía vino, probablemente, de tres fuentes: vuelos de avión, los cuales transportaban sensores en el visible y de microondas; fotografías tomadas desde las naves Mercury, Gemini y Apollo; y los primeros satélites meteorológicos que transportaban video y sensores IR. La NASA, estimulada por esos datos, en 1964 patrocinó una conferencia en Woods Hole Oceanographic Institution para examinar las posibilidades que la nueva tecnología podía ofrecer. El reporte de la conferencia, resumió los hallazgos de ese tiempo; estimulando el programa de observaciones del océano de la NASA

Un segundo paso importante ocurrió en 1969, durante la conferencia "Williamtown Conference". En su reporte final se establecían las posibilidades para una misión espacial enfocada a la geodesia y otras ciencias para determinar el geoide de la tierra usando una combinación de seguimiento preciso de satélites y medidas de la elevación de éstos sobre la superficie, mediante radar altímetro.

Durante esta conferencia se identificaron las posibilidades para determinar las corrientes oceánicas de gran escala mediante altímetros en órbita. Los requerimientos de precisión en las mediciones parecían imposibles de cumplir con las limitaciones que la tecnología de la época presentaba. Se necesitaba un error no mayor a 10 cm. en la elevación de la superficie con respecto al geoide. Sin embargo, la NASA sabía que en el largo plazo, los requerimientos podrían ser logrados. Esta agencia inició un programa llamado Earth and Ocean Physics Application Program. La resolución especificada sólo se logró en 1994, después de un período de 25 años de incremento gradual a través de 5 satélites altimétricos: Skylab, GEOS-3, Seasat, Geosat y Topex/Poseidón.

Luego aparecieron dos satélites de observación del océano de primera generación, Skylab en 1973 y GEOS-3 en 1975. Skylab fue un laboratorio espacial que transportaba astronautas y sensores, entre los que se contaban un radar altímetro, un radiómetro / scaterómetro de microondas, un radiómetro de microonda larga, un scanner visible-IR y cámaras. GEOS-3 fue un pequeño satélite que transportaba un radar altímetro de pulso dual, cuya misión fue mejorar nuestro conocimiento del geoide de la tierra.

A partir de los satélites meteorológicos aplicados a la oceanografía se obtuvieron datos de temperatura superficial del mar (SST) usando sensores en el infrarrojo lejano. Entre éstos se contaban el Visible and Infrared Scanning Radiometer (VISR), con una resolución espacial de 5 Km. producía imágenes borrosas de SST, pero el potencial de la herramienta era claramente visible. Al mismo tiempo aviones que transportaban sensores visibles planeados para medir fitoplancton y sedimentos delineaban las posibilidades de la percepción remota del color del océano.

4.2. La segunda generación.

La combinación de los datos preliminares y el conocimiento científico que permitió la explotación de dichos datos, dio como resultado el desarrollo de sensores diseñados específicamente para observar el océano y otras superficies. Datos producidos por altímetros y radiómetros de microonda dieron credibilidad e ímpetu a la creación de satélites dedicados a las microondas. Las mediciones de color desde aviones indicaron la eficacia de tales sensores para medir las concentraciones de clorofila cerca de la superficie. Los sensores IR producían mediciones útiles de SST. Estas capacidades diversas fueron reunidas cuando Estados Unidos, en un intervalo de 4 meses durante 1978, lanzó una tríada de satélites que cambió de manera radical la forma en que los científicos verían el océano en el futuro. En Junio fue lanzado el Seasat, en Octubre el TIROS-N (inmediatamente después de la catastrófica falla en el Seasat) y el Nimbus-7. Colectivamente transportaban sensores que abarcaban toda la gama de posibles aplicaciones de la observación del océano desde el espacio. Esta segunda generación de satélites fue extraordinariamente exitosa. Produjo datos que validaron a los satélites como herramientas útiles a la oceanografía.

El Seasat, a pesar de su corta vida de sólo 99 días, demostró la utilidad de un altímetro para medir el geoide marino dentro de unos pocos metros, para inferir la variabilidad de gran escala de las corrientes oceánicas y para determinar la altura de olas. El escaterómetro de viento produjo mediciones de velocidad de viento oceánico equivalentes a 20000 observaciones desde buque por día.

El Scanner de multifrecuencia produjo también velocidad del viento y contenido de vapor de agua en la atmósfera. El radar de apertura sintética (SAR) produjo imágenes libres de nubes mostrando características de la superficie del mar entre las que se incluían la manifestación superficial de ondas internas, surgencias y patrones de lluvia.

Todas estas mediciones se extendían en una escala de cuencas oceánicas, permitiendo a los oceanógrafos ver el océano como nunca antes se había soñado.

4.3. La tercera generación.

Siguiendo los éxitos de la constelación de 1978, una nueva generación de satélites evolucionó. Incluidos en ésta están los satélites de la Agencia Espacial Europea (ESA) ERS 1 y 2, los que tienen una misión análoga a la del Seasat, con un desempeño muy mejorado; el Geosat (de la Marina de EE.UU.) el cual completó la misión altimétrica del Seasat; el soviético Almaz-1 el cual transportaba un radar productor de imágenes y radiómetros de microondas; el japonés Environmental Remote Sensing Satellite 1, también transportando un SAR y más recientemente el Topex/Poseidón, un satélite Franco-Americano cuya precisión de medida excede los requerimientos delineados en 1969. Éstos están fuertemente complementados por las series de satélites climáticos voladas por diferentes naciones.

Las miríadas de satélites que vendrán en el futuro son demasiado numerosas para ser citadas en una revisión histórica. Es suficiente decir que la validez de los datos de satélites ha sido ampliamente demostrada y que son usados a diario por científicos e ingenieros, quienes no necesitan estar entrenados en tecnología aerospacial para tomar provecho de los datos producidos.

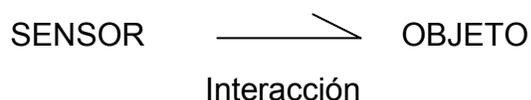
En el futuro, la continuidad de los datos de satélites de investigación y operacionales permitirá el uso rutinario de datos derivados de plataformas espaciales en investigaciones y operaciones marinas. La unión de datos de terreno con datos satelitales extiende en gran medida la utilidad de ambos. En otra área la asimilación de datos satelitales en modelos numéricos aumentará significativamente la validez de tales simulaciones.

Finalmente el entrenamiento de las generaciones más jóvenes de científicos en el uso de los datos derivados de satélites, junto con las técnicas clásicas de instrumentación, asegurará el buen uso de las grandes inversiones nacionales que van hacia el desarrollo de satélites.

4.4. El espectro electromagnético.

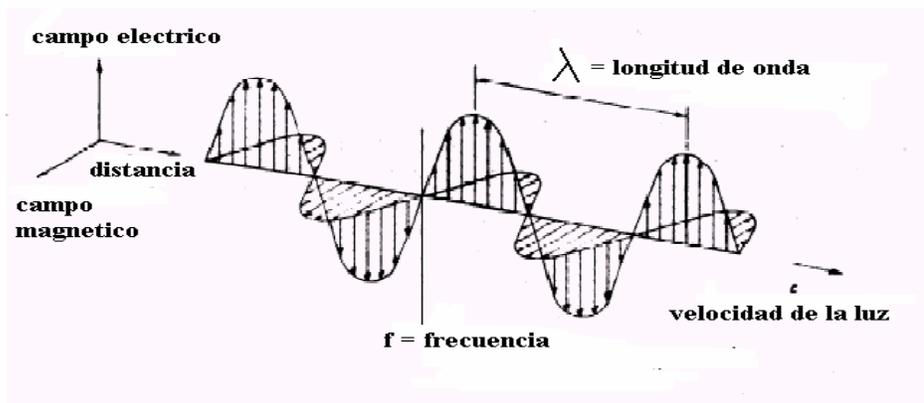
4.4.1. Percepción remota.

Es la técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre.



Los elementos que existen en cualquier sistema de teledetección son i) sensor, ii) objeto observado, iii) flujo energético. La detección se puede llevar a cabo por: reflexión, emisión o reflexión-emisión. Según la teoría ondulatoria la energía electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo 2 campos de fuerzas ortogonales entre sí: Eléctrico y magnético (ver figura 36).

Figura 36. **Campo eléctrico.**



Ésta energía se puede describir por dos elementos: F (frecuencia) y λ (longitud de onda) $C = F * \lambda$ ($C =$ vel. de la luz) La cantidad de energía de un fotón es: $Q = h * F$, donde Q es la energía radiante de un fotón (J), F es la frecuencia y h es la constante de Planck 6.6×10^{-34} J/s.

A mayor λ menor energía y a mayor F , mayor energía.

El espectro electromagnético es una sucesión de λ continua, pero existen una serie de bandas donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de éstas bandas de λ o F se llama espectro electromagnético (Figura 2). Las λ más cortas se denominan por mm y las más largas por cm. o m; estas últimas se designan también por su frecuencia (GHz).

4.4.2. Regiones de importancia en el espectro electromagnético

Espectro visible (0.4-0.7 μm o 400 - 700 μm)

Azul (0.4-0.5 μm)

Verde (0.5-0.6 μm)

Rojo (0.6-0.7 μm)

- IR-cercano: 0.7 - 1.3 μm , también llamado IR reflejado y fotográfico, puesto que puede detectarse mediante películas especiales. Puede discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- IR medio: 1.3- 8 μm , aquí se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.
- IR-lejano o térmico: 8 a 14 μm , incluye la porción emisiva del espectro terrestre.

Microondas: A partir de 1mm, de gran interés, ya que la cubierta nubosa es transparente a la mayor parte de la energía en esta región.

4.4.3. Términos y unidades de medida.

Como se señaló anteriormente para que exista percepción el sensor debe detectar un flujo energético proveniente de un objeto. Este flujo debe tener una intensidad determinada, provenir de una unidad de superficie y tener una dirección concreta. Conviene detallar las principales unidades de medida de este flujo energético. Se incluye para cada una su nombre, símbolo, fórmula, unidad de medida y definición:

- . Energía radiante: Q , ----, Joules (J), Indica el total de energía radiada en todas las direcciones.
- . Densidad radiante: (W): $\delta Q/\delta v$, J/m^3 , Total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de volumen.
- Flujo radiante: f , $\delta Q/\delta t$, Watts (W), Total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo.
- . Emitancia o excitancia radiante: (M), $\delta Q/\delta A$, W/m^2 , Total de energía radiada en todas las direcciones desde una unidad de área y por unidad de tiempo.
- Irradiancia radiante: (E), $\delta Q/\delta A$, W/m^2 , Total de energía radiada en todas las direcciones sobre una unidad de área y por unidad de tiempo.
- Intensidad radiante: (I), $\delta \Phi/\delta \Omega$, Total de energía radiada por unidad de tiempo y por ángulo sólido (Ω) . Se trata de un ángulo tridimensional, que se refiere a la sección completa de la energía transmitida.
- . Radiancia: (L) $\delta I \cdot \cos Q / \delta A$, W/m^2 , total de energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida. Es un término fundamental en percepción remota, ya que es lo que el sensor mide.

- Radiancia Espectral: L_λ , $\delta L/\delta l$, W/m^2 , μmm , Por extensión del concepto anterior, indica el total de energía radiada en una determinada longitud de onda por unidad de área y por ángulo sólido de medida. Por cuanto el sensor detecta una banda en particular del espectro, esta es la medida más cercana a la observación remota. De igual forma que la radiancia, la emitancia e irradiancia también pueden completarse con el calificativo de espectral (añadiendo el sufijo l), para referir a una determinada longitud de onda.
- Emisividad: (ϵ), M/M_n , Relación entre la emitancia de una superficie (M) y la que tendría un emisor perfecto, denominado cuerpo negro, a la misma temperatura (M_n).
- Reflectividad: (ρ), Φ_r/Φ_i , relación entre el flujo incidente y el reflejado por una superficie.
- Transmisividad: (τ), relación entre el flujo incidente y el transmitido por una superficie.

4.4.4. Principios y leyes de la radiación electromagnética

Existe una relación entre flujo de energía y l, se puede observar a través de la ley de Planck.

$$M_n\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5(e^{(hc/\lambda kT)}-1)}$$

Ec. 1.1

Donde M_{λ} indica la emitancia radiactiva espectral de un cuerpo negro a una determinada λ , h es la constante de Planck ($6.626 \cdot 10^{-34}$ Js), k la constante de Boltzman ($1.38 \cdot 10^{-23}$ Ws² /K); c la velocidad de la luz ($2.9979 \cdot 10^8$ ms⁻¹), λ la longitud de onda y T la temperatura absoluta de un cuerpo negro (K).

En resumen nos indica que cualquier cuerpo con una temperatura superior al 0 absoluto radia energía y que ésta incrementa con la temperatura. A mayor T este cuerpo radiará en λ más cortas.

También podemos conocer la λ , a la cual la emitancia es máxima, conociendo su temperatura (T), en K. Esta es llamada la ley del desplazamiento de Wien:

$\lambda_{\max} = 2898 \text{ mm K/T}$ (ec. 1.2) De gran importancia para seleccionar la banda de observación si se conoce la temperatura del objeto.

También se puede conocer el total de energía que radia un cuerpo por unidad de superficie, mediante la ley de Stefan-Boltzman:

$$M_n = \sigma \cdot T^4 \text{ Ec. 1.3}$$

Hasta aquí hemos supuesto que las superficies se comportan como un cuerpo negro, por lo que hay que corregir por la emisividad, de acuerdo a la ley de Kirchoff:

$$M = \epsilon \cdot M_n \text{ Ec. 1.4}$$

4.5. Propiedades de los sensores.

4.5.1. ¿Que puede ser medido?

- Color
- Temperaturas
- Pendiente
- Altura
- Rugosidad

4.5.2. ¿Cuáles son las limitaciones?

- a) Penetración de las nubes: A una latitud de 50° N en Europa la probabilidad de tener 2 pasadas seguidas con menos de 30% de nubes es sólo de un 5%. Los sensores de microondas son capaces de penetrar las nubes.
- b) Precisión del sensor: En 1964 en Woods Hole Oceanographic Institution planteó
- c) estándares imposibles de cumplir con la tecnología de la época (1er satélite lanzado sólo hace 7 años). Pero 14 años después, el SEASAT, no solo cumplía las normas si no que las superó y los oceanógrafos tuvieron más datos en los 3 meses de misión del SEASAT que toda la información reunida hasta esa fecha.
- d) Satélites ven sólo la superficie: Las ondas de radio no se propagan dentro del medio acuoso, la penetración de la luz es limitada. Pero lo que más interesa a los investigadores usualmente se refleja principalmente en la superficie: Mareas, tormentas, hielo flotante, polución y patrones climáticos.

4.5.3. Tipo de satélites (sensores).

Los sensores, de acuerdo a la región del espectro donde operan se pueden clasificar como de microondas, Visibles. Infrarrojos; y según el tipo de energía usada en activos y pasivos.

4.5.3.1. Sensores de microondas.

Los primeros experimentos realizados con éste tipo de sensores fueron realizados por los astronautas a bordo del SKYLAB en 1974. El GEOS-3 demostró la factibilidad de usar altímetros de alta resolución para monitorear el estado y nivel medio del mar. Además en el NIMBUS 5 y 6 volaron scanning radiometers.

Los radares de apertura sintética habían estado volando sólo en aviones. SEASAT los llevó por primera vez todos juntos. El proceso por el cual se extrae información útil de la superficie del mar al analizar la naturaleza de la radiación retrodispersada (Backscatter) se ilustra en la siguiente tabla. Scattering de ondas electromagnéticas depende de:

Rugosidad superficial causada por:

Vientos
Olas
Corrientes
Manchas, derrames

Parámetro más importante de radiación electromagnética:

Poder
Ángulo de incidencia
Frecuencia
Ángulo de visión, polarización

4.5.3.2. Scatterometer.

El scatterometer es un radar diseñado para medir la velocidad y dirección del viento en la superficie del mar. Transmite un impulso de cortos pulsos y mide el poder del eco reflejado (backscattered) desde la superficie a una variedad de ángulos de incidencia.

Responde principalmente a la rugosidad superficial, pero en una medida menor está influenciado por espuma y spray, el cual coloca una cota al límite superior de resolución a velocidades del viento altas.

4.5.4.3. Altimetro.

El altímetro es un radar que apunta al nadir, el cual mide la altura precisa del instrumento sobre la superficie, al medir el intervalo de tiempo entre la transmisión y recepción de una cadena de cortos pulsos. En el presente tiene una precisión superior a los 5 cm. Ésta se logra a través de una mezcla de sofisticadas técnicas de compresión de pulso y seguimiento del nivel del mar.

4.5.4.4. Radar de apertura sintética (SAR)-

El SAR es un instrumento que produce imágenes de microondas de la tierra, desde el espacio con una resolución comparable a los sistemas ópticos (aprox. 20 a 5 metros).

4.5.4.5. Radiómetros de microonda pasivos.

Los radiómetros de microonda pasivos observan la radiación emitida desde la tierra (mar) en el rango de 1 a 300 Ghz, pero la mayoría de los parámetros relacionados con el océano se obtienen en el rango bajo los 40 GHz. Son usados principalmente en la medición de temperatura superficial, viento y otros parámetros atmosféricos.

4.5.4.6. Color del océano y sensores infrarrojos.

La percepción remota del océano con sensores visibles e infrarrojos tiene una herencia bastante más antigua que los sensores de microondas. NOAA ha estado volando el Very High Resolution Radiometer (VHRR) por muchos años y desde 1978 lo actualizó al Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) el cual se encuentra operacional hasta nuestros días, junto al AVHRR-2. El color del océano fue medido por cerca de 8 años por el Coastal Zone Color Scanner (CZCS) un instrumento que voló en el NIMBUS-7,

4.5.4.7. Resolución radiométrica.

Hace mención a la sensibilidad del sensor, esto es, a la capacidad de detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. El número máximo de niveles digitales que puede detectar un sensor óptico-electrónico es lo que recibe el nombre de resolución radiométrica. Los primeros sensores ofrecían 64 o 128 niveles digitales, actualmente ofrecen más de 1024.

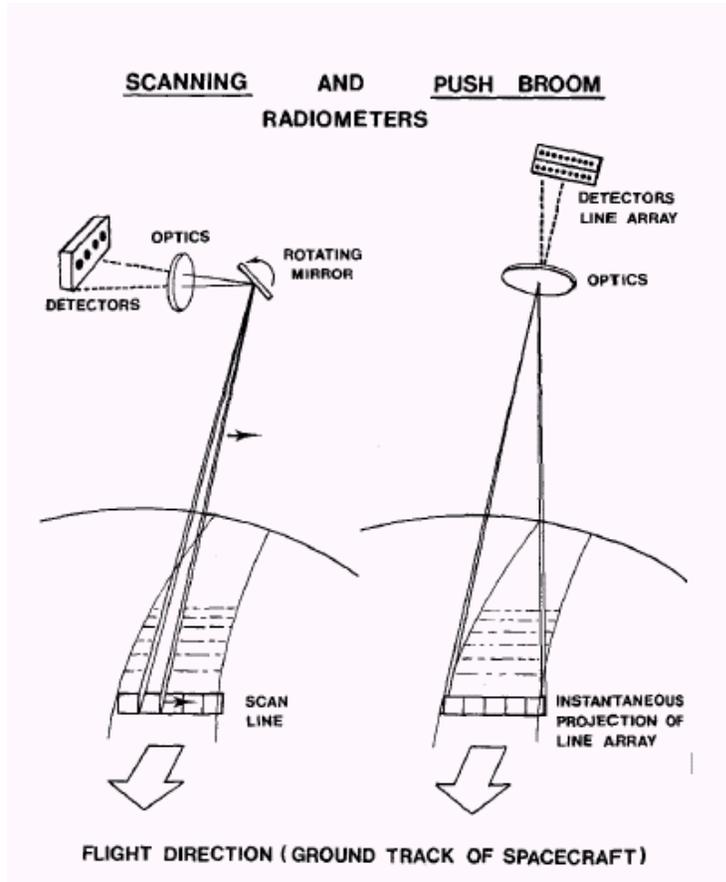
4.5.4.8. Resolución temporal.

Se refiere a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor, *i.e.* a la periodicidad con que éste adquiere datos de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura es función de la órbita del satélite (altura, velocidad, inclinación), así como del diseño del sensor, principalmente al ángulo de observación y de abertura.

4.6. Adquisición de datos mediante satélites de escaneo.

Los tipos de datos que analizaremos son digitales; no nos referiremos a los productos fotográficos obtenidos desde aviones o satélites, los que caen dentro del campo de la fotointerpretación. El sensor de escaneo (scanner) apunta su dirección de mirada hacia tierra, toma una medición, rota en el sentido de escaneo, toma la siguiente medición y así sucesivamente hasta que llega al final de su barrida (swath). Luego de eso se devuelve para comenzar una nueva línea de escaneo, habiéndose desplazado una distancia igual a la dimensión Norte-sur del IFOV en tierra, gracias al movimiento orbital del satélite.

Figura 37. Ciclo de escaneo.



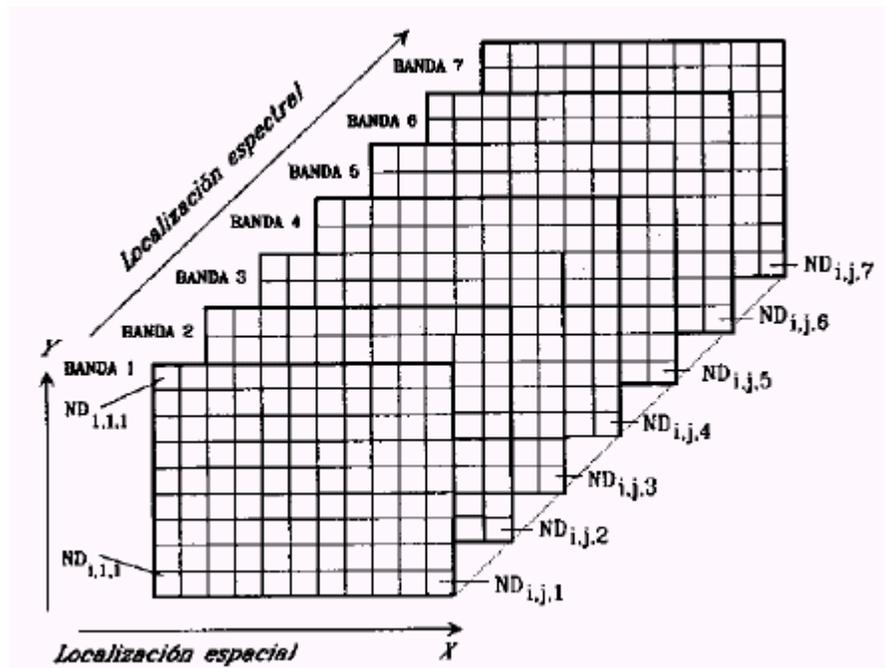
En la figura 37 se muestra un sensor durante un ciclo de escaneo. En la parte superior se aprecia como el sensor desplaza el IFOV sobre la superficie produciendo lo que serán las filas de la imagen. En la parte inferior el movimiento latitudinal del satélite producirá las columnas de la imagen.

4.6.1. Formato de la imagen.

La imagen adquirida por el sensor remoto estará en formato digital. Ésta será una matriz con filas y columnas, donde cada elemento es llamado píxel (picture element).

Por cada una de las bandas existirá una de estas matrices (ver figura 38). Al terminar una fila de escaneo usualmente se incorporan parámetros de geolocalización y calibración del sensor. La cantidad y tipo de esta información dependerá del formato de imagen. Además, al comienzo de la imagen suelen ir los "headers" que le indicaran al computador el formato de la imagen, cantidad de líneas, columnas y la cantidad de bits que ocupa cada píxel. La cantidad de bits usada por el píxel determinará finalmente cuanta información puede llevar este píxel. Un píxel de 1 bit, sólo puede tener 2 niveles de información "encendido" o "apagado", uno de 2 bits tendrá 4 niveles y uno de N bits tendrá 2 n niveles de información. En percepción remota lo más usual es encontrar píxeles entre 8 y 10 bits. Una imagen de 8 bits es capaz de almacenar 256 niveles de información, *i.e.* si la imagen es en escala de grises, serán 256 tonos de gris.

Figura 38. **Esquema de la ordenación de los datos en una imagen satelital.**



4.7. Principios de procesamiento digital de imágenes.

Procesamiento de imágenes es el término usado para denominar las operaciones desarrolladas sobre un set de datos de imagen para mejorarlas de alguna forma, para ayudar a su interpretación o para extraer algún tipo de información útil de ella.

Es obvio que el procesamiento de imágenes no puede producir información a partir de nada. Si en el set de datos no existe información concerniente a una aplicación o interpretación en particular, entonces no importa que cantidad de complicadas rutinas de procesamiento apliquemos, no se podrá obtener información.

Por ejemplo, la aparición de un frente térmico donde antes sólo existía una masa de agua uniforme; el cual al ser inspeccionado en más detalle, tiene un DT de 0.2 °C, y el sensor que obtuvo el set de datos tiene una resolución de 2°C y un ruido de igual magnitud. Es de gran importancia tener en cuenta que lo que estamos observando es una representación gráfica de números, de igual forma podríamos representar los datos de satélite en forma de tabla.

Los datos satelitales, dependiendo de su tamaño pueden venir en CCT (Computer Compatible Tape), cintas de 8 o 4 mm (DAT), CDROM o descargarse por FTP (File Transfer Protocol, el cual corre en protocolo TCP/IP). El medio a seleccionar dependerá del tamaño del archivo usado y la frecuencia de acceso a dichos datos. Si los datos serán usados con frecuencia un CDROM es lo más conveniente, pero si serán archivados como base de datos histórica, la elección se inclina hacia las cintas.

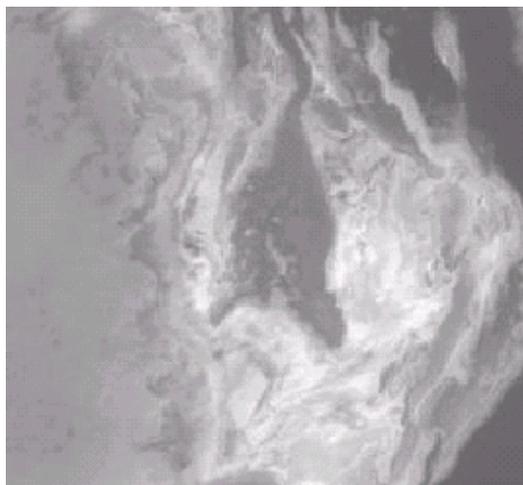
4.8. Imágenes digitales.

Previamente vimos que los sistemas adquieren los datos píxel a píxel. La imagen es guardada como una grilla de píxeles (ver figura 39). La radiancia (sensores visibles e IR) de cada uno de esos píxeles es registrada por el detector y entonces es digitalizada para permitir su manipulación por parte del computador.

Las radiancias podrán tomar cualquier valor entre 0 y R_{max} , el que es el número de intervalos digitales que están disponibles y dependen del número de bits del convertidor análogo-digital $R_{max} = 2^n - 1$, donde n es el número de bits.

El proceso de digitalización transforma datos análogos continuos en datos digitales discretos, *i.e.* un número finito de valores enteros es usado para representar todos los valores de los datos originales y continuos.

Figura 39. Imagen sin procesamiento, codificación en escala de grises.



4.9. Despliegue de los datos.

Hasta aquí los datos han sido grabados, digitalizados y guardados en la forma de una grilla de píxeles, si los datos fueros adquiridos por algún sensor capaz de producir imágenes, los datos pueden mostrarse en un monitor.

Para que los datos sean mostrados en pantalla, el computador asigna a cada valor entero (o rango de ellos) un color en particular, de forma tal que pueda ser distinguido visualmente. Existen diferentes métodos de codificar los datos en color.

- Codificación (paleta) arco iris (rainbow encoding): Cada valor digital es asignado a un color diferente, arbitrariamente elegido. *E.g.* 0=rojo, 1=azul, ... 255=amarillo.
- Codificación (paleta) en escala de grises: A cada valor se le asigna un nivel de gris, generalmente en un orden ascendente. *E.g.* 0=negro, 1=gris oscuro, ...,254=gris claro, 255=blanco
- Codificación (paleta) en escala de colores: A cada valor se le asigna un solo nivel de color, generalmente en un orden ascendente. *E.g.* 0=rojo oscuro, ..., 255=rojo claro.

La codificación en escala de color se puede usar cuando se necesita mostrar mas de una imagen; asignando a cada imagen una escala de colores, por ejemplo rojo, verde, azul. Luego se muestran las tres una sobre otra, produciéndose un composite en falso color.

Esta técnica es muy utilizada para desplegar los datos de sensores multiespectrales o para mostrar datos de una misma área a diferentes tiempos. En la figura 43 se puede ver una escena adquirida por la banda 1 (azul) del Thematic Mapper (TM), a bordo del LANDSAT. Esta imagen tiene 8 bits de resolución radiométrica, *i.e.* cada píxel puede tomar tiene 256 niveles digitales posibles. Está representada en una paleta de gris, con 256 niveles de gris. No se ha aplicado ningún tipo de mejoramiento, por lo que los detalles no logran ser apreciados.

4.10. Procesamiento de imagen.

La digitalización deja los datos con un formato adecuado para su manipulación por parte del computador. Éstos pueden ser ahora transformados en cualquier función matemática elegida. Cada sistema de procesamiento de imágenes tiene su propio software asociado, cada uno desarrollando una tarea diferente.

La secuencia de tareas aplicadas a una imagen se denomina como procesamiento de imágenes, la cual puede variar dependiendo de las metas que se tengan en vista. A continuación se da una lista de técnicas básicas actualmente usadas en procesamiento de imágenes.

4.10.1. Correcciones radiométricas.

La radiancia del objetivo es alterada por la atmósfera, a través de la cual ésta pasa en su camino hacia el sensor . Además, el sensor también modifica la radiancia que lo ha alcanzado.

La corrección por la atenuación atmosférica es especialmente importante para objetivos oscuros tales como cuerpos de agua. En algunas condiciones la señal que llega al sensor puede estar compuesta de menos del 20% de señal proveniente de bajo del agua y de más de 80% de señal proveniente de la atmósfera, como es el caso de los sensores de color del océano.

Existe una serie de técnicas para remover el efecto de la atmósfera. Las más complejas modelan matemáticamente las condiciones de la atmósfera en el momento y lugar en que la imagen fue adquirida, lo que a menudo requiere de la toma de información en terreno.

4.10.2. Correcciones geométricas.

La curvatura de la tierra, la no uniformidad del movimiento del scanner y la no linealidad del espejo escaneador producen distorsión. La corrección de dichas distorsiones geométricas puede ser lograda de dos formas:

- La posición de los píxeles se cambia, pero éstos mantienen sus valores de intensidad debido a que este método es de limitada precisión se usa sólo para correcciones geométricas simples.
- La imagen es remuestreada, *i.e.* una imagen digital geoméricamente distorsionada es transformada en una imagen sobre una grilla igualmente espaciada, no distorsionada. La intensidad de los píxeles en la nueva grilla debe ser determinada por interpolación, usando los píxeles vecinos en la imagen de la imagen distorsionada.

4.10.3. Mejoramiento de imagen.

Los métodos de mejoramiento de imagen son aplicados a una imagen que ya ha sido corregida radiométrica y geoméricamente. El mejoramiento está diseñado para ayudar al analista humano a extraer e interpretar la información pictográfica.

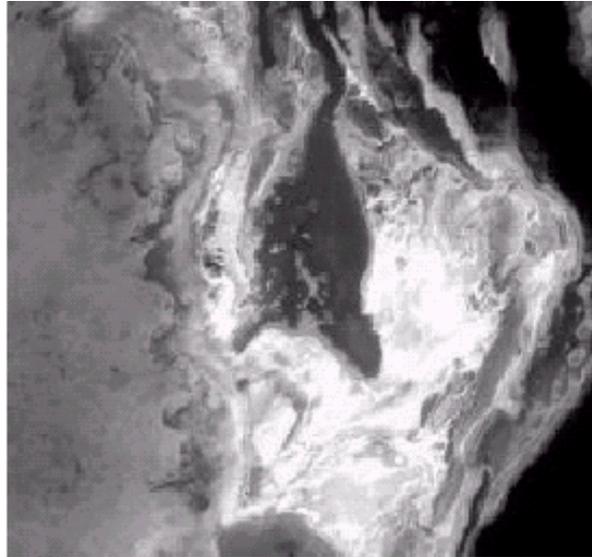
Esto se logra al enfatizar las características o patrones de interés; por ejemplo, el ojo humano puede identificar muchos más colores que tonos de gris, por lo tanto una paleta de colores puede representar mucha más información que una en tonos de gris.

4.10.3.1. Mejora del contraste.

Es un proceso que acentúa la intensidad relativa de los elementos de la imagen. Esto se puede lograr por una serie de aproximaciones, dependiendo de las necesidades de una tarea en particular, por ejemplo:

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| i. Modificación lineal: | $y=ax+b$ |
| ii. Modificación logarítmica | $y=b * \log(ax)+c$ |
| iii. Modificación exponencial | $y=b * \exp(ax)+c$ |
| iv. Modificación no lineal | $y=f(x)$ |

Figura 40. **Imagen con mejora del contraste.**



Donde x representa el valor de un elemento en la imagen previa, y es el valor modificado y a , b , c son constantes. El resultado del mejoramiento del contraste es una imagen en la cual las diferencias más pequeñas entre tonos de gris son enfatizadas y por lo tanto son más fáciles de distinguir por el ojo humano. En la figura 40 se aprecia la misma imagen que en la fig. 39; en este caso se ha mejorado el contraste mediante un ajuste lineal. Se observa una mejor distribución de los tonos de gris disponibles v/s los niveles digitales existentes.

4.10.3.2. Detección de borde (edge enhancement).

Es un método en el cual se cambian los valores de intensidad en una imagen digital para mejorar la detección de características de borde en la escena. Es muy útil en la detección de características lineales como frentes (cálidos y fríos), o hechos por el hombre (canales de regadío). Es llevado a cabo por filtros matemáticos de paso alto, los que enfatizan los detalles en una imagen.

Una de las técnicas más usadas es aplicar a la imagen una grilla de factores de corrección o factores de filtrado, siendo las más comunes la de 3x3 píxeles. Esta grilla de transformación o filtrado se coloca sobre un píxel en particular y se calcula su nuevo valor dependiendo de la función elegida para el filtro. En el ejemplo de la figura 39 a la imagen de la figura 40, se le ha aplicado un filtro de variancia en un cuadrado de 3x3 píxeles, es decir el valor del píxel original se reemplaza por el valor de la variancia de la grilla de los 9 píxeles que lo rodean.

Figura 41. **Imagen con matriz de datos originales.**

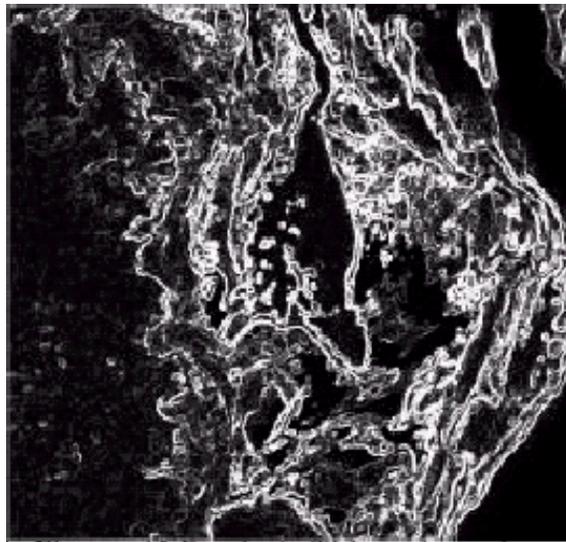


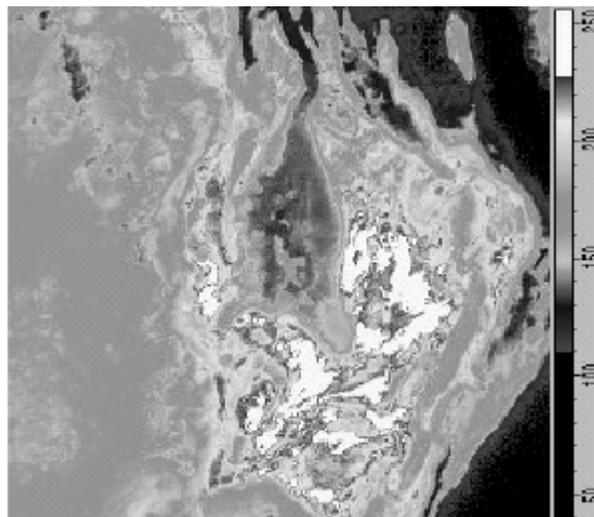
Tabla III. Datos filtros por grilla de variancia de 3x3 píxeles.

28	32	43	45	46	→	0	0	0	0	0
4	12	44	43	46	→	0	18	16	2	0
1	2	45	43	47	→	0	34	24	8	0
87	85	47	54	67	→	0	34	23	10	0
89	41	67	66	60	→	0	0	0	0	0

En la tabla III se muestra la matriz de datos original de una imagen ficticia y a su derecha la matriz resultante después de realizar un filtro de variancia de 3x3 píxeles. Se puede apreciar que la imagen ha perdido sus bordes; esto es debido a que al filtrar, los píxeles que quedan en la orillas no pueden completar la grilla de filtrado. Mientras más grande sea la grilla, mayor cantidad de líneas y columnas se perderán en los bordes, por figura 41, en la cual se aplicó un filtro para la detección de borde (Variancia 3x3).

Ejemplo en una grilla 3x3 se pierde una sola línea y columna, en una 5x5 se pierden dos, y así sucesivamente.

Figura 42. Imagen contrastada y con paleta de colores.

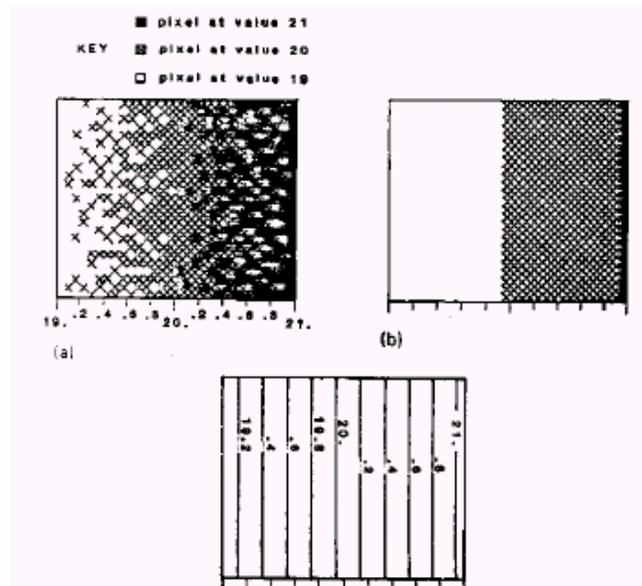


4.10.3.3. Mejoramiento del color.

El sistema visual humano puede discriminar sólo 20 a 30 tonos de gris, bajo un nivel de adaptación a la luz dado. Bajo las mismas condiciones de luz, puede discriminar un número mucho mayor de colores, por lo que el uso de color provee un dramático aumento en la cantidad de información que puede ser percibida.

En la figura 42 se muestra la escena a la cual se le ha colocado una paleta de color arco iris. La paleta está colocada a un lado de la imagen e indica el número digital y el color correspondiente. Como la imagen ha sido previamente contrastada, a los píxeles con valores bajo 110 se les ha asignado el negro y a los píxeles con valores sobre 228 se les ha asignado el blanco.

Figura 43. Esquema del suavizado de imagen.



4.10.3.4. Suavizado.

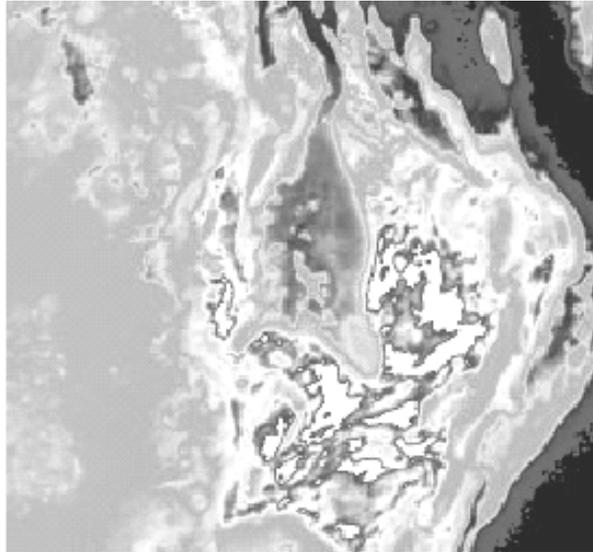
Esto tiene por objeto atenuar los contrastes espaciales presentes en la imagen. Se trata de asemejar el valor de cada píxel con el de sus vecinos, reduciendo la variabilidad espacial de la escena.

Una imagen suavizada ofrece perfiles menos nítidos, más difuminados, como puede apreciarse en la figura 44.

Este tipo de filtro permite restaurar los errores aleatorios que pueden presentarse en los números digitales (ND) de la imagen, fruto de un defecto en la adquisición o recepción de los datos, disminuyendo el "ruido" de escena, el que se encuentra sobre en las zonas heterogéneas o de transición entre dos valores de radiancia; por ejemplo en un frente térmico.

En la figura 43 en la parte inferior se esquematiza la transición de temperaturas en un frente desde 19.2 (izquierda) a 21°C (derecha). En la parte superior izquierda se aprecia como sería detectado por un sensor IR; pudiendo notarse la cantidad de ruido presente en la zona de transición. A la figura 44 después de aplicado el suavizado.

Figura 44. **Esquema después de aplicado el suavizado.**



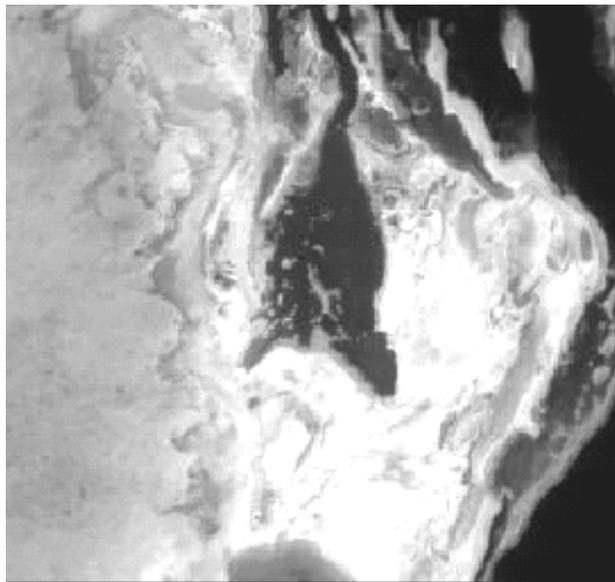
Arriba se muestra la imagen luego de ejecutado un suavizado o filtrado de paso bajo. En forma similar a los filtros de detección de bordes los filtros de suavizado son grillas (usualmente de 3x3), las cuales se aplican sobre la matriz original de datos para obtener algún tipo de media ponderada de los valores que componen la grilla y reemplazar en este resultado el valor del píxel central.

En la figura 44 se aprecia el efecto de un filtro de suavizado en la imagen de banda 1 TM. La mayor diferencia apreciable es la disminución del ruido (píxelado) en la zona superior derecha de la imagen.

4.10.3.5. Mejoramiento multimagen.

Las imágenes múltiples (multiespectrales o multitemporales) llevan más información que una sola imagen. El mejoramiento de imágenes múltiple involucra el mejoramiento en contraste independientemente en cada una de las imágenes que componen la multimagen. Los componentes mejorados son mostrados como un composite en falso color. Esto permite el uso de color como una herramienta para detectar la diferencia entre las bandas o entre las fechas de las imágenes. En la figura 45 se muestra un composite RGB (red-green-blue) o de color verdadero en el cual la imagen se ha puesto en el cañón rojo del monitor, la banda 2 en el verde y la 1 en el azul. Este tipo de imagen es lo que más se acerca a lo que el ojo humano vería desde el espacio, y podría tomarse como una "fotografía" de la zona.

Figura 45. **Esquema Composite multiespectral en falso color.**



Es posible simplificar el contenido de información de una imagen presentada en forma digital reduciendo el número de niveles digitales disponibles. Imágenes de alto contraste con sólo dos niveles pueden ser producidas por la asignación de un color a un nivel de ningún color al otro nivel. La división de la escala de grises en diferentes clases puede ser hecha de forma arbitraria o de acuerdo a las especificaciones del usuario.

Este método puede ser usado para la separación de agua y tierra. En este caso se eligen una longitud de onda (generalmente en el IR) para la cual se presenta una diferencia entre agua y tierra (ver figura 46). Un histograma de los datos nos mostrará dos formas claramente distinguibles, permitiendo al usuario definir un umbral para separar ambas figura 46: Un histograma de los datos nos mostrará dos formas claramente distinguibles, permitiendo al usuario definir un umbral para separar ambas clases. A los píxeles con un valor de radiancia bajo el umbral se les asigna un color particular, mientras que a los restantes se les asigna otro color.

Figura 46. **Esquema máscara binaria en la que la tierra aparece en negro y el agua en blanco.**



4.11. Interpretación de imágenes.

Después de las mejoras introducidas a la imagen, ésta debe ser interpretada, para así extraer el real significado de los datos digitales, *i.e.* el significado ambiental de las radiancias recogidas por el sensor.

4.11.1. Clasificación de imágenes.

Una imagen puede ser dividida en diferentes clases de tal manera que los píxeles que tengan propiedades espectrales similares queden agrupados en la misma clase. La separación de estas clases, es llevada a cabo usualmente mediante métodos estadísticos o geométricos.

La clasificación es más exitosa cuando los objetivos son muy diferentes espectralmente. Un prerequisite para una clasificación exitosa es un conocimiento acabado de las condiciones superficiales en sitios representativos (ground truth) del área a ser mapeada.

4.12. Usos y modelos de la fotografía satelital.

4.12.1. Principios de la altimetría por satélite.

El primer altímetro útil para la oceanografía voló en el SEASAT en 1978, atrayendo la atención de muchos científicos.

El principal logro del altímetro del SEASAT fue la capacidad de medir la distancia entre el satélite y la superficie del mar con una exactitud de 10cm a una distancia de 800km, ésto representa una precisión de uno en 8.000.000, permitiendo a los oceanógrafos realizar un sueño esperado por más de un siglo. Medir la pendiente absoluta de la superficie del mar. Además de lo anterior, si se suma la posibilidad de medir la altura significativa de ola y estimar el viento superficial al mismo tiempo, se podrá comprender por qué todas las grandes agencias espaciales están volando altímetros en la actualidad.

Aquí se expondrán los principios de la altimetría por satélite, las posibles fuentes de error, los distintos componentes de la señal altimétrica y como se puede extraer información oceanográfica útil a partir de ésta. Se revisarán los mecanismos de oceanografía dinámica que hacen posible la interpretación de la altura de la superficie del mar (Sea Surface Height o SSH) en términos de corrientes oceánicas en una variedad de escalas espacio temporales. Finalmente se mencionarán otras aplicaciones de la altimetría.

Debido a que es un campo esencialmente dinámico se debe revisar la literatura constantemente para mantenerse al tanto de los últimos avances de la técnica.

Los altímetros satelitales son radares que transmiten cortos pulsos hacia la tierra bajo ellos. El tiempo de retorno de la señal después de la reflexión del pulso en la superficie terrestre indica la altura del satélite, si es conocida la velocidad de propagación de la onda.

Para un satélite a 500 Km. de altura el tiempo de retorno es de 3 milisegundos, pero para alcanzar una exactitud de 1 cm. se requiere medir el tiempo con exactitud de 30 pico segundos (3×10^{-11} segundos). Esto establece fuertes demandas tanto en la resolución como en la estabilidad temporal del reloj.

Se pueden producir errores cuando se calcula la distancia a partir el tiempo medido, debido a la variabilidad de la velocidad de la onda en la ionosfera y atmósfera. También aparecen errores debido a la degradación del pulso al reflejarse en una superficie rugosa, pero se pueden aplicar correcciones.

Lo anterior es sólo el primer paso para determinar la altimetría desde un satélite. La meta es la SSH relativa al geoide (h). El geoide (ver figura 47) es una superficie equipotencial, por definición normal a la fuerza de gravedad efectiva, la cual incorpora fuerzas de rotación, la gravitación de la tierra sólida y también el océano y atmósfera y la altura de la superficie del mar sobre éste tiene información oceanográfica.

El geoide es la superficie equipotencial al nivel medio del mar, entonces si el océano en cualquier lugar estuviera en equilibrio, su superficie definiría al geoide. Por lo tanto la altura sobre o bajo el geoide es un parámetro que contiene información oceanográfica acerca de corrientes o mareas.

La forma de la tierra se considera como aproximadamente elíptica con un radio ecuatorial de 6.378km y un radio polar de 6357km. Sin embargo, debido a distribución de masas desigual, el geoide verdadero se desvía en altura en distancias de 50m del elipsoide de referencia.

La distancia medida sólo relaciona la SSH con la órbita del satélite. Entonces ésta última debe ser determinada con relación al elipsoide de referencia en el mismo grado de exactitud que las medidas de distancia que se quieren obtener. Esto es llevado a cabo mediante equipos LASER, PRARE (Precise Range And Range Rate Equipment) y DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite). La red de seguimiento DORIS (ver figura 48) se compone en la actualidad de 51 estaciones terrenas, distribuidas en más de 30 países.

La homogénea distribución de las estaciones alrededor del mundo permite una cobertura de la órbita de Topex/Poseidon, superior al 80%. No se conoce la variabilidad en pequeña escala del geoide sobre la mayor parte del océano, salvo donde se han realizado detalladas mediciones de gravimetría.

Figura 47. **Esquema de la medición de altura por medio de un satélite.**

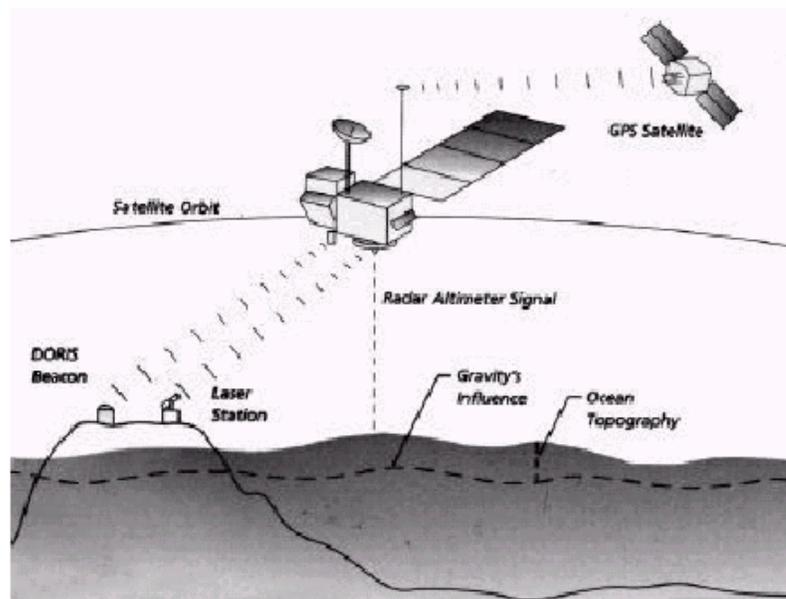
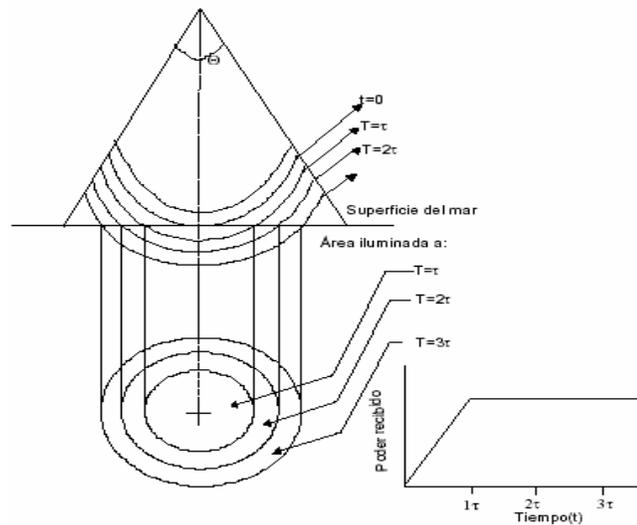


Figura 49. Interacción de un pulso de duración t con una superficie plana para un mar en calma una longitud del pulso (t_p), con un radio (r_a).



$$r_a = \sqrt{2 * h * c * t_p}$$

pero en un mar rugoso con una altura de ola significativa igual a $h_{1/3}$ el área se incrementa en

$$r_a = \sqrt{2 * h * c * t'_p}$$

donde

$$t'^2_p = t^2_p + \frac{(16h_{1/3}^2 * \ln 2)}{c^2}$$

h es la altura de la órbita; c es la velocidad de la luz en el vacío y t_p es la longitud del pulso.

Para SEASAT $h = 800 \text{ Km.}$ y $t_p = 3 \times 10^{-9}$, $r_a = 1200 \text{ m}$, por lo tanto el altímetro vería un swath de 2.4 Km. , el cual se incrementa hasta 12 Km. con oleaje alto. Durante el período de integración (1 seg.) el satélite viajaba $6,7 \text{ Km.}$, obteniéndose una resolución bastante alta.

4.14. Correcciones por transmisión.

La altura es calculada a partir del tiempo de viaje del pulso (tT) sobre el supuesto que la señal viaja a la velocidad de la luz. Sin embargo, la velocidad de la onda se ve reducida a través de la atmósfera, resultando en una sobre estimación de la distancia.

$Dh = 1/2 tT \text{ cm. (c-cm.)}/\text{cm.} = h (n-1)$ donde h es la altitud verdadera y n el índice refractivo del medio ($n=c/\text{cm.}$). Para la estimación del error Dh , es suficientemente preciso usar la altura nominal del satélite.

El índice refractivo varía con la altitud, entonces

$$\Delta h = \int_0^h (n - 1) dh$$

En la ionosfera a una frecuencia de 10 Ghz $(n-1) = 1/2 N a f^{-2}$ ($a = 80.5 \text{ m}^3\text{s}^{-2}$, N = número de electrones libres por unidad de volumen).

Entonces para la ionosfera

$$\Delta h_i = \frac{\alpha f^{-2} \int_0^h N dh}{2}$$

aproximadamente 20 cm. de error.

N varía en día - noche, invierno y verano (siendo menor en verano) aumenta con el máximo de actividad solar. f^{-2} depende de la frecuencia, por lo tanto un altímetro multibanda ayuda a corregir.

En la troposfera es influido por gases secos y vapor de agua. Los errores son del orden de 2.5 metros.

Corrección seca, se relaciona con la distribución vertical de gases en la atmósfera. $D_{hd} = 2.277 \times 10^{-5} (1 + 0.0026 \cos 2f) p_0$, donde f es la latitud y p_0 es la presión superficial en pascales.

Al usar campos de presiones globales de observaciones meteorológicas es posible estimar el error por gases secos a 1.2 cm.

Corrección húmeda: $D_{hw} = 2.277 \times 10^{-5} (1255/T_0 + 0.05) I_0$; donde T_0 es la temperatura atmosférica en K y I_0 es la presión parcial superficial de agua.

4.15. Errores por rugosidad superficial.

El hecho que la superficie del mar sea rugosa por olas tiene como efecto el dispersar el frente de retorno del pulso y por lo tanto, incrementar el área del foot print efectivo. Esto es conocido como el tracker vías, en el cual los valles son aplanados y las crestas acentuadas. Debido a lo anterior la señal de retorno de los valles es mayor que la de las crestas, sobre estimándose la distancia entre el satélite y la superficie del mar.

4.16. Estableciendo un dato.

El primer paso es determinar la altura del océano con respecto al centro de la tierra o elipsoide de referencia. El determinar la posición y altura exacta del satélite en el momento en que se realizó una medición de altura se conoce como ephemeris de la órbita.

Las principales fuerzas que causan desviación de la órbita nominal son: variaciones en la atracción de gravedad entre tierra - luna - sol, roce de la atmósfera y presión de la radiación solar directa y reflejada.

Todos estos factores contribuyen a desviaciones del orden de 10km de la órbita nominal. Debido a la falta de conocimiento de todos los factores que actúan sobre la órbita, no es posible modelarlos, por lo que se requiere de la mayor cantidad de estaciones de seguimiento posible. Además, la altura exacta, y otras coordenadas posicionales de la estación seguidora deben ser conocidas.

Debido a que el error varía sobre escalas de longitud de 10000 Km., puede ser minimizada a sólo 10cm sobre arcos de longitud de 1000 Km.

4.17. Topex/Poseidón.

El satélite TOPEX/Poseidon (ver figura 50) usa un altímetro de radar de alta precisión para tomar medidas de altura de la superficie del mar sobre más del 90% de los océanos libres de hielo del mundo.

Las órbitas del satélite a una altitud de 1336 kilómetros sobre la tierra tienen una inclinación de 66 grados. Una revolución alrededor del planeta es llamada una órbita. En aproximadamente 10 días TOPEX/Poseidon completa 127 órbitas, o un ciclo.

Por ese tiempo realiza medidas del nivel del mar para el globo entero. TOPEX/Poseidon mide la distancia del satélite a la superficie del mar a dentro de aproximadamente dos y medio centímetros. Científicos combinan esta medida con la determinación precisa de la órbita, lo que permite localizar la nave espacial dentro de tres o cuatro centímetros.

Figura 50. **Representación artística del Topex/Poseidón.**



Estas medidas le permiten a TOPEX/Poseidon lograr su objetivo primario de la misión, que es la producción de mapas topográficos exactos de los océanos de todo el mundo.

4.17.1. Posicionamiento de TOPEX.

Las mediciones obtenidas por TOPEX/Poseidon no serían útiles si la posición del satélite en espacio no fue bien conocida. Tres sistemas diferentes miden con exactitud la posición de TOPEX/Poseidon en espacio.

Un método usa rayos láser enviados de la tierra y reflejados en el retrorreflector láser del satélite. Otro método usa un sistema de rastreo por radio, desarrollado por la Agencia Espacial francesa, CNES.

La tercera forma de localizar la nave espacial usa una serie de satélites llamados Sistema del Posicionamiento Global (GPS). Estos satélites envían señales que permiten a precisar la posición de TOPEX/Poseidon en espacio continuamente.

El equipo de la Determinación y Comprobación de la Precisión de Órbita es responsable de establecer la situación del satélite en su órbita, verificando la exactitud de sus cálculos. Se usan datos de SLR (Satellite Láser Ranging) y sistemas DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) para determinar la órbita de TOPEX/Poseidon. Juntos, estos sistemas proporcionan un seguimiento global del satélite en todo tiempo.

Hay sin embargo, algunas limitaciones en sistemas basados en tierra. Para desarrollar métodos más exactos y menos caros de localización de órbitas, el proyecto instaló un Sistema del Posicionamiento (GPS) en la nave espacial como un experimento del vuelo.

El experimento demostró un gran éxito. Durante las pruebas el receptor de GPS pudo seguir las señales de 8 de los 21 satélites de GPS simultáneamente; con lo que la y la posición radial de la nave espacial se pudo conocer con una exactitud mejor que 3 centímetros.

4.17.2. Comprobación del altímetro.

Para verificar la exactitud de la medida hecha por TOPEX/Poseidon, el equipo de Determinación de Órbita de Precisión y el Equipo de la Comprobación tiene una segunda manera, basada en tierra, de obtener la distancia del altímetro al océano.

Esta medida se obtiene a partir del nivel del mar que es supervisado mediante instrumentos puestos en la Plataforma petrolera de Texaco, localizada fuera de la costa de California. El sitio fue escogido para que la interferencia de la tierra no adulterara la señal de retorno de altímetro.

Las medidas de los instrumentos de la Plataforma se comparan con aquéllos tomados por TOPEX/Poseidon, para asegurar que el altímetro de la nave espacial está funcionando apropiadamente.

4.18. Datos.

4.18.1. Procesamiento de datos científicos.

El equipo de datos científicos, o SDT, es responsable de producir y distribuir los archivos digitales que contienen la información que se usó para analizar la actuación de la nave espacial y sus sensores (ephemeris), y los productos de la ciencia finales.

Después de recibir los datos del sensor TOPEX/Poseidon, los miembros de SDT envían los datos a JPL (Jet Propulsion Laboratory) donde se aplican una serie de programas para organizar y refinar los datos. Se agregan archivos adicionales a los datos procesados para producir, el registro de datos del altímetro, el registro de datos del radiómetro de microonda del TOPEX, los datos geofísicos y el registro de los datos geofísicos (Merged Geophysical Records, MGR).

Estos archivos se envían entonces al PO.DAAC, desde donde son distribuidos a la comunidad científica y se retiene una copia para la preservación a largo plazo.

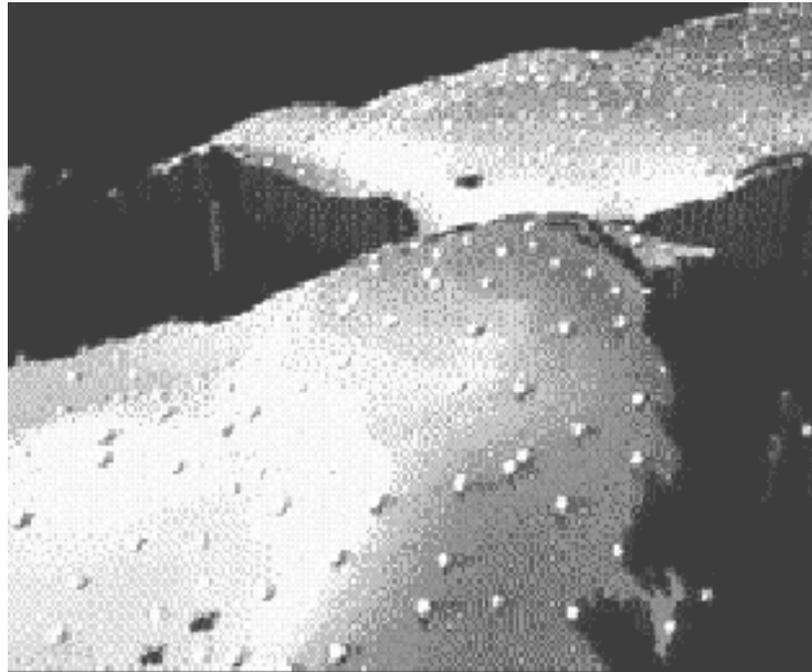
4.18.2. Topografía del océano

La topografía del océano (ver figura 51) es la altura del nivel del mar relativa al geoide de la tierra una vez que las variaciones debido a las mareas se han abstraído. Mientras los modelos de las corrientes del océano han sido trazados por marineros por centenares de años.

TOPEX/Poseidon es la primera misión espacial que les permite a científicos usar topografía del océano para calcular la velocidad y dirección de corrientes del océano casi en todo el océano, de forma similar a la que usan los meteorólogos con mapas de presión atmosférica para calcular la velocidad y dirección de vientos.

Con mapas de topografía del océano, se puede observar el movimiento de agua en detalle a través de los océanos del mundo. En el hemisferio norte, las corrientes del océano fluyen en el sentido de las agujas del reloj alrededor de las altas de topografía y en sentido contrario a las agujas del reloj alrededor de los valles; este proceso se invierte en el hemisferio sur. Estos altos y valles son los similares a los sistemas de circulación en la atmósfera.

Figura 51. Topografía del océano en el caribe, a partir de datos Topex/Poseidon



4.18.3. Variabilidad de la superficie del mar.

La variabilidad de superficie de mar se refiere a cualquier cambio del nivel del mar , relacionando a algún nivel del mar promedio, normalmente un promedio multianual.

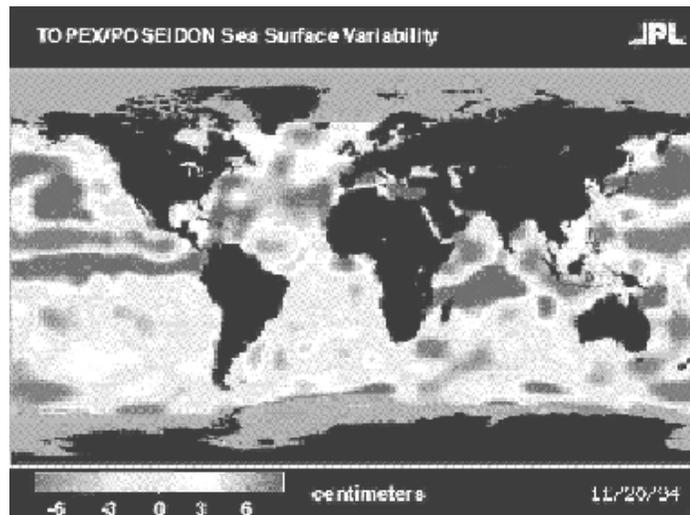
Comparando nivel del mar actual con los promedios establecidos, se puede observar la variabilidad de los océanos del mundo de un ciclo de 10 días al siguiente, de una temporada a otra, y de de año en año.

De los trópicos a los polos, los cambios del nivel del mar estacionales son dominados por el calentamiento y enfriamiento de la capa superior de los océanos.

Las masas oceánicas más grandes tienden a tener cambios estacionales más moderados. El hemisferio sur tiene menos masa de tierra, y más masa oceánica que el hemisferio norte. Como resultado, el cambio del nivel del mar estacional en el sur es la mitad del cambio en el norte.

Alrededor del ecuador, puede observarse el cambio del nivel del mar en una de sus formas más dramáticas (ver figura 52), durante los eventos de El Niño. La altura de la superficie más alta (rojo y amarillo) refleja una cantidad excesiva de agua caliente en el océano superior.

Figura 52. **Variabilidad de la superficie del mar, a partir de datos Topex/Poseidon.**



4.18.4. Altura significativa de ola.

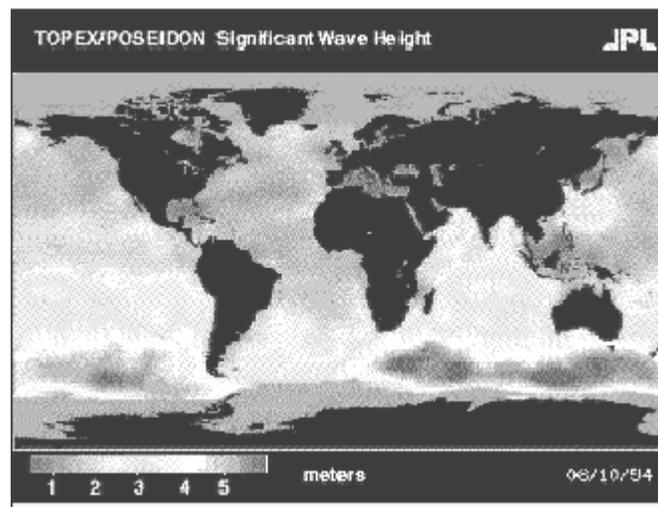
La altura significativa de ola es determinada a partir de la forma del pulso de radar de retorno del altímetro. Un mar tranquilo con olas bajas produce un retorno un pulso afilado, mientras que un mar áspero con olas altas produce un retorno un pulso estirado.

Hay un grado alto de correlación en general, entre la velocidad del viento y altura de la ola.

Los vientos más fuertes se encuentran en los océanos del sur (ver figura 53). De acuerdo con esto también se encuentran las olas más altas, representadas en rojo, en los océanos del sur y pueden tener más de seis metros en altura.

En los océanos tropicales y subtropicales donde las velocidades del viento son menores, se encuentran las olas más bajas, indicadas en azul. Las observaciones simultáneas de velocidad del viento y altura de la ola por TOPEX/Poseidon ayudarán a mejorar la habilidad de prever las olas del océano.

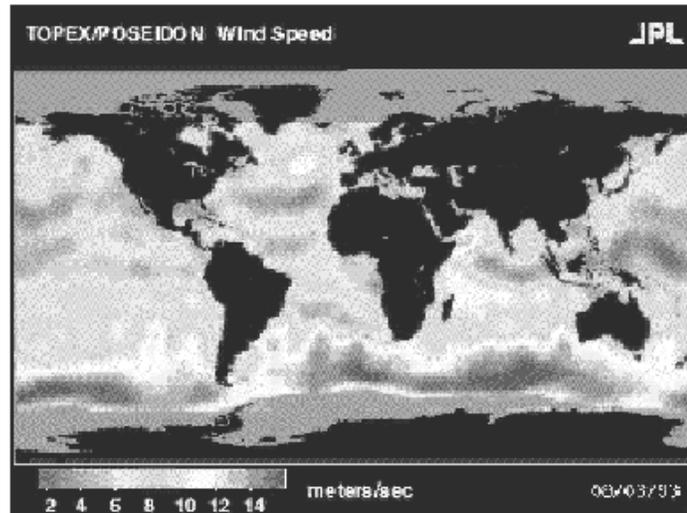
Figura 53. **Altura significativa de olas a partir de datos Topex/Poseidon.**



4.18.5. Viento.

Como ya se mencionó existe un grado alto de correlación entre la velocidad del viento y altura de la ola. La velocidad del viento es determinada mediante de la fuerza del pulso del retorno del altímetro. Un mar tranquilo es un reflector bueno y produce un pulso de retorno fuerte, mientras que un mar rugoso tiende esparcir la señal y devolver un pulso débil.

Figura 54. **Velocidad del viento a partir de datos Topex/Poseidón.**



Las velocidades del viento altas, en la figura 54, son representadas en rojo. Los vientos más altos generalmente ocurren en océanos del sur, donde vientos de más de 15 metros por segundo puede encontrarse. Las olas más fuertes también se encuentran generalmente en esta región. Los vientos más débiles indicado por azul se encuentra en las áreas tropicales y subtropicales del pacífico, océanos atlánticos e indico.

4.19. Aplicaciones.

Se han usado modelos matemáticos para predecir modelos de tiempo en la tierra. A pesar de décadas de esfuerzo concentrado, ellos no han tenido éxito en predecir el tiempo muy lejos en el futuro. La dificultad con sus modelos no está con la matemática, si no que con una falta de información global consecuente y oportuna sobre las condiciones del océano.

Se necesita una visión sinóptica a gran escala, TOPEX/Poseidon es un satélite que permite observaciones continuas de las corrientes del océano. Estas observaciones se usarán para mejorar nuestra comprensión de modelos de tiempo.

A veces un cambio en los océanos puede afectar clima global, por eso es que los investigadores de TOPEX/Poseidon le prestan atención especial a los eventos de El Niño y a la circulación del océano global que transporta calor hacia los polos Norte y Sur.

Investigadores también estudian eddies y mareas, proporcionando valiosa información sobre otros procesos oceánicos que llevarán a un entender mejor de la circulación del océano.

4.19.1. Clima Global.

Los tres metros superiores del océano guardan la misma cantidad de calor que la atmósfera entera. Este calor se libera y se reabsorbe regularmente por un ciclo del océano a la atmósfera. Los patrones anómalos en la proporción y tamaño de este intercambio pueden causar tiempo severo, por lo que se mide la temperatura de los océanos para ver si con ella se puede identificar y predecir tales patrones climáticos.

Además de afectar el tiempo, los cambios en temperatura del océano afectan el nivel del mar. La mayoría de los levantamientos del nivel del mar son debidos a la expansión termal.

Cuando la temperatura del océano sube, el agua expande, ocupando más espacio. La fusión de hielo polar tiene un efecto adicional pero de menor importancia.

En el pasado se tenía que confiar en mareógrafos y otros dispositivos para medir cambio en nivel del mar. Ahora con TOPEX/Poseidon, se dispone de medio un millón de observaciones en sólo un ciclo de 10 días.

4.19.2. Eddies.

Los eddies (ver figura 55) son los remolinos expulsados fuera de una corriente principal o forzados por el viento. Los eddies del océano pueden persistir desde una semana hasta más de un año, pueden tener diámetros de decenas a centenares de kilómetros, y extenderse a grandes profundidades en los océanos.

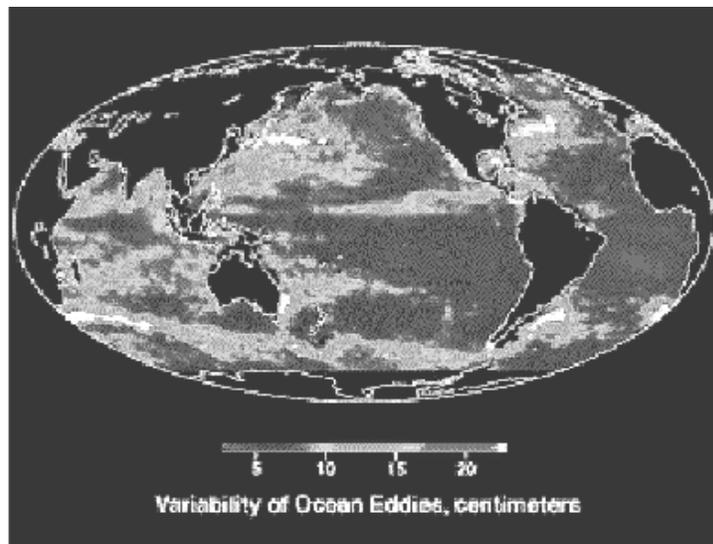
Estas corrientes juegan un papel importante en circulación del océano transportando calor, sal y nutrientes a través de las aguas.

En la atmósfera, el "tiempo" consiste en la fluctuación del azar de flujo aéreo. Los océanos tienen su propio tiempo y consisten en la fluctuación del azar de corrientes del océano. Los eddies pueden pensarse de como un tipo de tiempo oceánico.

Ellos juegan un papel crítico en circulación del océano, el clima de la tierra, y sistemas biogeoquímicos.

Los eddies también juegan un papel en la pesquería. A algunos peces grandes les gusta alimentarse cerca de los bordes de los eddies fríos. Cuando los eddies vienen y van, también lo hacen los cardúmenes de estos peces. TOPEX/Poseidon localiza los eddies y mide anomalía la media de la SSH mar cambia ellos causan.

Figura 55. **Variabilidad de eddy, a partir de datos Topex/Poseidon.**



4.19.3. Mareas.

La órbita de TOPEX/Poseidon fue escogida permitir al satélite medir las mareas solares y lunares.

Un logro significativo de TOPEX/Poseidon es que los datos del satélite han sido usados para producir los mapas globales más exactos de mareas. Como resultado, pueden predecirse ahora mareas en el océano profundo con una exactitud de 2 centímetros.

Este nivel de exactitud es necesario para entender muchos procesos oceánicos y geodésicos: las mareas son sobre todo importantes para la navegación en regiones costeras; las mareas retardan a la rotación de la luna alrededor de la tierra, y causan que la luna mantenga la misma cara hacia la tierra; el peso de las mareas deprime el piso oceánico, interfiriendo con mediciones de gravedad en tierra; y finalmente, las mareas cambian las órbitas de satélites artificiales.

4.19.4. El niño.

"El Niño" afecta los modelos de tiempo en todo el mundo. Cuando esto ocurre, algunas partes del globo padecen sequía, mientras otras experimentan inundaciones. Es importante entender la mecánica de El Niño para predecir la ocurrencia y efectos de este evento.

Antes de un Niño, fuertes los vientos alisios hacia el oeste en el Pacífico ecuatorial empujan agua caliente hacia Indonesia. Esto produce una gran acumulación de agua a 28°C en el Pacífico Occidental. Durante un Niño, los vientos alisios debilitan y una ola de agua cálida sigue el ecuador hacia el este hasta América del Sur. Esto calienta el Pacífico ecuatorial central y oriental.

Cuando El Niño se desarrolla, las lluvias pesadas normalmente encontradas cerca de Indonesia se mueven hacia el Pacífico central, calientan la atmósfera allí y rompen la circulación atmosférica a lo largo del pacífico. Se han sentido efectos en zonas tan lejanas al norte como Canadá y al sur como Chile central.

TOPEX/Poseidon está ayudando a entender la mecánica de El Niño y también con el desarrollo de modelos que predecirán eventos futuros.

4.19.5 Circulación oceánica global.

La circulación del océano es el movimiento de aguas a gran escala en las cuencas oceánicas. Los vientos mueven circulación de la superficie, y el enfriamiento y hundimiento de aguas en las regiones polares manejan la circulación profunda.

La circulación de la superficie lleva hacia los polos las aguas cálidas de los trópicos. El calor se transfiere por el camino desde las aguas a la atmósfera. En los polos, el agua se enfría aún más durante el invierno, y se hunde. Esto es especialmente cierto en el Atlántico norte y a lo largo de Antártica. Agua del océano profunda retorna a la superficie gradualmente casi en todas partes del océano. Una vez a la superficie se lleva de nuevo a los trópicos, y el ciclo empieza de nuevo. Mientras más eficaz el ciclo, el mayor es el calor transferido y más caluroso el clima.

Debido a la rotación de la tierra, las corrientes se desvían a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio del sur (Coriolis). La desviación con lleva que los altos y los valles del nivel del mar sean directamente proporcionales a la velocidad de las corrientes de la superficie. Los cambios en nivel del mar debido a las corrientes es la topografía del océano que es observada por TOPEX/Poseidon.

5. ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Las experiencias y conceptos que sean adquiridos sobre ordenamiento territorial en el mundo nos permiten dar un juicio que se trata de una política y un proceso de planificación de naturaleza técnica, política y administrativa, cuyo objetivo central es el de organizar, armonizar y administrar el uso del espacio, de modo que esto contribuya al desarrollo humano ecológico sostenible, espacialmente armónico y socialmente justo.

Esto pone en evidencia que en el ordenamiento territorial es un conjunto de políticas ambientales, las cuales hacen que la región, país o territorio determinen un modelo de desarrollo económico de cada país.

Estas políticas de ordenamiento territorial han logrado que países latinoamericanos como Venezuela, Bolivia, Honduras y el Salvador corrijan problemas de uso y ocupación inadecuada y desequilibrio del espacio y el uso irracional de los recursos naturales. Tales problemas hacen la búsqueda de alternativas de desarrollo sostenible, han estimulado la adopción del ordenamiento territorial como estrategia de los países para armonizar las actividades humanas con el aprovechamiento de los recursos naturales y con la distribución social y regional equilibrada de los beneficios de tales actividades. Se trata de frenar de manera voluntaria el orden territorial injusto y desordenado, creado de manera espontánea y sin ninguna ley; para poder así inducir panoramas desde el punto de vista ambiental, socioeconómico y espacialmente viable.

Si lo vemos desde este punto de vista el ordenamiento territorial pierde el carácter pasivo, para convertirse en una estructura con objetivos, políticas y leyes territoriales.

5.1. Enfoques.

5.1.1. Ordenamiento activo y pasivo.

5.1.1.1. Ordenamiento activo.

Este tipo de ordenamiento tiene objetivos de desarrollo territorial a escalas nacional, regional y subregional que buscan modificar desequilibrios de desarrollo, su carácter activo deriva de la intervención voluntaria y dinámica del estado sobre el territorio, a partir de grandes obras de infraestructura y proyectos de inversión, que inducen una transformación espacial en el territorio existente. Los estados utilizan varias estrategias, las mas utilizadas son las siguientes:

- Proyectos de urbanización y explotación de nuevas áreas: Dirigidos a controlar el crecimiento acelerado y desmesurado de las ciudades, los problemas de poblamiento sin autorización de áreas desocupadas (invasiones a propiedad privada).
- Impulso a la industrialización de regiones deprimidas: esto se despliega a partir de localizar los polos de desarrollo en el territorio, los cuales provocan un conjunto de efectos positivos en ciudades o territorios ordenados, ya que modifican los desequilibrios regionales de la organización espacial del territorio.

Esta implementación de impulso de industrialización de regiones deprimidas es promocionado por el sector empresarial, por ser estimulante para inversiones, infraestructura y equipamiento a industrias.

- Descongestión urbana y/o poblamiento de áreas poco habitadas: esta estrategia se desarrolla mediante el establecimiento de controles a centros urbanos, control de construcción de nuevas ciudades. Política de vivienda popular y mejoramiento de servicios públicos y sociales en ciudades pequeñas y medianas; con los que se busca reorientar los movimientos migratorios de la población.

5.1.1.2. Ordenamiento Pasivo.

Los intereses de este tipo de ordenamiento son de escala subregional y local, de uso y ocupación del territorio, su carácter pasivo se relaciona con el uso de zonificaciones o regionalizaciones como estrategia para inducir nuevos escenarios de uso de territorio, como planes legales y mecanismos para un mejor ordenamiento en este estrato.

5.2. Cualidades.

Las cualidades del ordenamiento territorial de acuerdo con su naturaleza son:

- Proceso Planificado.
- Multidimensional.
- Prospectivo.
- Democrático.

5.2.1. Proceso Planificado.

Como proceso planificado, el ordenamiento territorial se expresa mediante planes, los cuales constituyen su principal instrumento. Estos planes se tienen que diseñar con la prospectiva de que se puedan modificar con el tiempo en función de escenarios, situaciones nuevas que se presenten y las fallas que sean necesario corregir.

También deben ser continuos en el tiempo e independientes de los cambios de gobierno y que puedan ejecutarse en el horizonte de tiempo para el cual fueron formulados. El carácter planificador hace del ordenamiento territorial un proceso sujeto a los procedimientos de la planeación en el cual las metas, objetivos, políticas, proyectos y acciones se formulan y realizan a partir del conocimiento e interpretación de la realidad y sus tendencias de cambio. Este conocimiento sirve de base al diseño y elaboración de modelos territoriales futuros, los cuales son a su vez, el punto de partida para la formulación, discusión y a probación del plan.

El contenido de los planes de desarrollo es afectado por la escala del ordenamiento, distinguiéndose los planes nacional, regional, departamental o subregional y municipal o local, según como este organizado el gobierno de cada país. En la escala nacional, los planes de ordenamiento territorial dan orientación y criterios los cuales constituyen términos de referencia para los niveles inferiores, como veremos mas adelante, en esta escala, también se ejecutan planes de ordenamiento, con predominio de instrumentos de tipo activo, a partir de la construcción de grandes obras de infraestructura y políticas de desarrollo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, entre otras metas.

A escala regional, los planes constituyen un marco de referencia para la planificación de los niveles inferiores y se concentran en problemas Inter-regionales dentro del contexto nacional e internacional. Los planes regionales se pueden orientar hacia el desarrollo de la competitividad regional en los mercados internacionales.

A escala departamental o subregional, los planes de ordenamiento territorial concretan las orientaciones dadas por el nivel regional, poniendo énfasis en los problemas propios del espacio departamental y dan directrices para los planes municipales o locales.

A escala municipal se elaboran planes de ordenamiento urbano y planes de ordenamiento rural, sin descuidar las relaciones campo-ciudad.

Los planes de ordenamiento urbano buscan organizar y controlar los usos residenciales, comerciales industriales y recreativos del espacio urbano, así como la expansión futura de las ciudades, los riesgos o amenizas de desastres por fenómenos naturales, el transporte público, la prestación de servicios etc. Los planes de ordenamiento rural se concentran en la organización y control de la localización de actividades agrícolas, extractivas, forestales, industriales, etc., buscando que estas se desarrollen de manera ecológicamente sostenible. Asimismo, estos planes se proponen elevar las condiciones de vida de la población campesina.

5.2.2. Multidimensional.

Esta cualidad deriva de la diversidad de elementos que involucra el ordenamiento en sus distintas escalas. Para formular un plan es necesario evaluar las condiciones sociales, económicas, ambientales y culturales, vistas de manera integral, como formas y estructuras territoriales espaciales cambiantes en el tiempo y en el espacio. Estas estructuras surgen de la interrelación entre la población con sus estructuras culturales y de poder, las actividades sociales, económicas, administrativas y los recursos naturales.

5.2.3. Carácter prospectivo y coordinado.

Este carácter se evidencia en el énfasis de largo plazo que tienen los planes de Ordenamiento territorial y en el interés por el diseño y construcción de escenarios futuros, concebidos en un horizonte de tiempo determinado (15 a 30 años), hacia los cuales se orienta la política ordenadora.

Alrededor de la construcción de estos escenarios se formulan los planes de desarrollo territorial y/o de uso y ocupación del territorio, buscando siempre una coordinación vertical, horizontal y temporal.

5.2.4. Carácter democrático.

La legitimación social es otra de las características destacadas en las políticas de ordenamiento. Esta legitimación se busca dando al proceso de ordenamiento un carácter participativo, especialmente en la formulación de planes de ordenamiento territorial locales y subregionales.

Escalas en las cuales la sensibilidad de los grupos sociales es mayor frente a los cambios que se establezca en el uso u ocupación del territorio o frente a los planes de inversión mediante los cuales se quiere inducir el orden territorial futuro.

5.3. Instrumentos.

5.3.1. Normas.

Los planes de ordenamiento territorial enfrentan diversos problemas: interés público vs. interés privado, interés conservacionista vs. interés desarrollista, objetivos sectoriales de desarrollo vs. objetivos regionales / territoriales y presiones de poder frente a la toma de decisiones ordenadoras.

Para enfrentar tales problemas y efectuar exitosamente los planes, es indispensable disponer de medios instrumentales que permitan a los organismos planificadores realizar exitosamente su gestión. La expresión más común de estos medios se da a partir de normas donde se establecen los procedimientos, incentivos, sanciones, fuentes de financiamiento, etc.

5.3.2. Requerimientos.

De acuerdo con sus atributos, el ordenamiento territorial requiere de marcos apropiados de concertación, espacios adecuados de planificación y recursos informativos y técnicos .

La concertación es un procedimiento clave para garantizar el éxito del proceso ordenador y para concretar su carácter participativo. Esto exige la existencia de organismos establecidos con la finalidad de propiciar la discusión y acuerdo de los objetivos, estrategias y metas que integran los planes, para legitimarlo socialmente y de este modo, hacerlo viable.

La información y recursos técnicos se refieren al manejo de gran cantidad de información especializada de buena calidad que exige el proceso de ordenamiento territorial, lo que obliga a las entidades planificadoras a obtener estos datos y a sistematizarlos. El manejo de abundantes datos espaciales y cuantitativos obliga al uso de técnicas e instrumentos avanzados de captura, almacenamiento, procesamiento, análisis y salida de la información. La organización de bases de datos y el uso de sistemas de información geográfica constituyen soportes importantes para la gestión ordenadora en todas sus escalas.

5.4. Bases para el diseño de un plan de ordenamiento territorial.

El ordenamiento territorial constituye, en este sentido, una política de desarrollo integral del estado para armonizar los intereses productivos de la sociedad con las necesidades de conservación ambiental, bienestar social y equilibrio espacial del desarrollo. Todo ello sobre la base de la concertación estado-comunidad y la participación activa de las comunidades en la ejecución de los planes de desarrollo en el ámbito regional y local.

En general, los planes de ordenamiento territorial implican tres fases básicas: técnico-científica, política y administrativa. La fase técnico-científica lleva a la realización de una diagnosis situacional, una prognosis y la definición de un esquema de ordenamiento que sirva de soporte a la formulación del plan.

La diagnosis es un instrumento que permite conocer y evaluar la situación de una región, a partir de la cual se definen unas áreas de manejo con sus respectivas cualidades o atributos, potencialidades, limitaciones, problemas y tendencias relacionadas con el medio biofísico, socioeconómico, de integración funcional-espacial y político-administrativa.

La prognosis es una proyección hacia el futuro en la búsqueda de alternativas óptimas para aprovechar mejor las potencialidades, disminuir las limitaciones, resolver los problemas y reorientar o reforzar las tendencias identificadas en cada unidad. Estas alternativas, después de ser evaluadas y buscar su compatibilidad con los intereses sociales, económicos y ambientales, se concretan en escenarios prospectivos (situación futura deseada) presentados de manera ordenada en una propuesta técnica o esquema de ordenamiento.

En la fase política, el Estado fija los objetivos, estrategias y acciones programáticas para corregir los problemas observados y alcanzar los escenarios planteados. En la administrativa, las instituciones y personas encargadas de la administración regional y local ejecutan, controlan y evalúan el plan en coordinación con los actores locales.

Sólo a partir de este conocimiento es posible proyectar la intervención de las estructuras y procesos que originan los actuales problemas y desequilibrios regionales, para orientarlos hacia escenarios de producción, conservación, recuperación, protección, urbanización e integración funcional-espacial. Así se podrá ofrecer a las actuales y futuras generaciones una región próspera y recursos naturales abundantes.

5.5. Objetivos y estrategias para una política de ordenamiento territorial.

5.5.1. objetivos.

El ordenamiento territorial, como política de desarrollo integral concebida a largo plazo (20 a 30 años), busca orientar la ocupación, transformación y utilización de los espacios geográficos, con el fin de armonizar y optimizar su aprovechamiento, teniendo en cuenta las potencialidades y restricciones biofísicas, socio-económicas y de integración espacio-funcional, así como los intereses de los actores sociales del territorio considerado. Todo ello guiado por principios de desarrollo sustentable y valoración del medio ambiente, integración funcional-espacial y elevación de la calidad de vida.

En términos generales, una política ordenadora para cada región debe contemplar los siguientes objetivos:

- Promover el conocimiento del espacio geográfico regional, mediante la investigación científica y la utilización de estos conocimientos en el uso eficaz del territorio.
- Detener, estabilizar y reorientar los procesos de intervención espontánea y descontrolada de la región y ordenar las áreas actualmente ocupadas, con base en escenarios alternativos de asentamiento y aprovechamiento que integren sus aspectos biofísicos, socio-económicos, culturales y de protección ambiental.
- Conservar y manejar en forma integral el medio biofísico y la biodiversidad de la región, como fuente potencial de desarrollo nacional y regional, como banco genético y como elemento esencial de la calidad del medio ambiente.

- Preservar las culturas indígenas que habitan en la región, en términos de su autodeterminación e integración a la nacionalidad.
- Instrumentar y operacionalizar el proceso de descentralización administrativa, mediante la participación de las comunidades locales en la gestión del gobierno encaminada a ordenar el territorio.

5.5.2. Estrategias de Ordenamiento.

Las estrategias de ordenamiento constituyen un conjunto coherente de políticas, líneas de acción, proyectos y medios instrumentales que guían la formulación del plan de ordenamiento.

Tales estrategias se derivan de los problemas y desequilibrios identificados en la diagnosis situacional que ese plan pretenda corregir.

Con base en la situación anteriormente expuesta, el ordenamiento territorial de la región del Pacífico debe involucrar estrategias esenciales: de desarrollo sostenido y conservación ambiental; de integración funcional-espacial; mecanismos económicos y sociales.

5.5.3. Estrategias Económicas.

Las acciones relacionadas con el desarrollo sostenible y la integración funcional-espacial deben ser complementadas con otras de tipo económico y social, para el logro del objetivo ordenador. Dentro de las acciones económicas que se han planteado en algunos estudios se destacan:

- Explorar y determinar el potencial minero de la región, especialmente en aquellas áreas reconocidas como de alto prospecto.
- Adelantando un programa de titulación de predios agrícolas y resguardos indígenas, de modo que todos los grupos sociales puedan tener acceso a la tierra y al crédito y a la asistencia técnica.
- Estimular el desarrollo de actividades turísticas, especialmente de playa y de tipo ecológico, mediante la dotación de una infraestructura apropiada que realce la calidad de sus bellezas escénicas.

5.5.4. Estrategias Sociales.

Las estrategias sociales son un complemento de las acciones anteriores para lograr una planificación integrada de la región. Estas se relacionan principalmente con el desarrollo de un modelo educativo ajustado al medio ecológico y cultural del País, que promueva un comportamiento solidario frente a la preservación del medio ambiente, la participación en los planes de desarrollo y el aprovechamiento eficaz de los recursos naturales.

Con el mejoramiento de la cobertura, eficiencia y calidad de los servicios básicos, de salud y de vivienda, así como, también mediante el respeto por la cultura indígena y el derecho que ésta tiene a usufructuar las áreas delimitadas por los resguardos.

El mejoramiento del equipamiento de los centros urbanos y el reequilibrio de la actual estructura espacial urbana y de transporte, constituyen, igualmente, acciones esenciales para mejorar la calidad de la vida de la población.

5.5.5. Integración funcional-espacial .

El impulso a la integración funcional-espacial, como otra de las estrategias de ordenamiento territorial, consiste en obtener una mejor y mayor integración e interrelación entre las estructuras productivas y socio-culturales de una región; esto, a través de una intervención decidida en la organización del espacio regional que permita promover modificaciones en la estructura productiva y social. El desarrollo de los sistemas de transporte y de centros urbanos dinamizadores constituyen los pilares de esta estrategia.

No hay duda que la ausencia de medios de transporte y comunicación constituyen, quizás, el principal problema de la región para su desarrollo económico, social y urbano; esta situación se explica, en gran medida, por las inmensas dificultades y limitantes que presenta el medio geográfico para su adecuación (ríos, pantanos, ciénagas, caños, bosques y abundantes precipitaciones) e inversión en obras de infraestructura vial, portuaria, que de por sí implican costos muy elevados.

A esta situación se suma la falta de recursos propios y el bajo presupuesto nacional que reciben los municipios y departamentos de la región para invertir en obras públicas; a lo anterior se agrega la escasa densidad de la población, la reducida especialización de los productos, la dispersión de la población a lo largo de los ríos y, en consecuencia, el poco movimiento económico intrarregional.

5.6. Desarrollo sostenido y conservación ambiental.

El desarrollo sostenido, como estrategia de ordenamiento territorial, hace énfasis en la sustentabilidad de los sistemas de producción en función tanto del aprovechamiento racional de los recursos o base natural regional (agua, bosques, recursos mineros, pesqueros, suelos, etc.) como del mejoramiento del bienestar social. Tal propósito enfrenta un dilema: la obtención de una alta productividad y una elevada rentabilidad a corto plazo, acompañada de efectos degradativos del medio natural y social, o una rentabilidad menor y a más largo plazo con menores impactos sociales y ambientales. El desarrollo sostenido lleva implícita la segunda opción. Sin embargo, la lógica de reproducción del capital está asociada a la primera.

El desarrollo sostenido podría basarse en una sola exigencia: que se evite alcanzar los niveles en que los usos inadecuados, la sobreexplotación o la contaminación ponga en peligro la oferta de los ecosistemas para la producción y disminuyan la calidad de la vida de la población involucrada.

Si se toma como principio fundamental que la sostenibilidad de la explotación de un recurso natural depende de la posibilidad de que el recurso conserve sus procesos de auto-mantenimiento y autorregulación, puede decirse entonces que los sistemas productivos de la región de cada país, con sus actuales condiciones de manejo ecológico, tecnológico y económico, no son sostenibles a largo plazo. Es el caso de la explotación forestal, especialmente la del manglar, de la producción minera y pesquera.

En consecuencia, la estrategia de desarrollo sostenido tiene que ver con las políticas de producción, conservación, protección y recuperación de las fuentes de recursos naturales. El nuevo orden territorial que se proyecte para un área en especial debe definir claramente las áreas de manejo con un uso asignado en correspondencia con las necesidades socioeconómicas, la vocación de los suelos y la preservación de la calidad del medio ambiente (procesos ecológicos, diversidad genética). Se definirán áreas específicas de preservación, protección, recuperación, producción acompañadas de sistemas eficaces de control y vigilancia para hacer cumplir las normas que se señalen.

Los escenarios, por su parte, se deben definir de manera concertada con los actores sociales para lograr su participación activa y respeto por los usos asignados y normas pertinentes.

En el caso de las áreas o unidades forestales establecidas como protectoras-productoras se tendrán que determinar las técnicas más apropiadas para la utilización del bosque procurando siempre su restablecimiento con prácticas de regeneración natural y/o artificial y, en algunos casos, mediante sistemas agro-culturales.

Se tratará de lograr el máximo beneficio económico y social para las poblaciones indígenas y campesinas, cuya base productiva o de subsistencia se derive del aprovechamiento forestal.

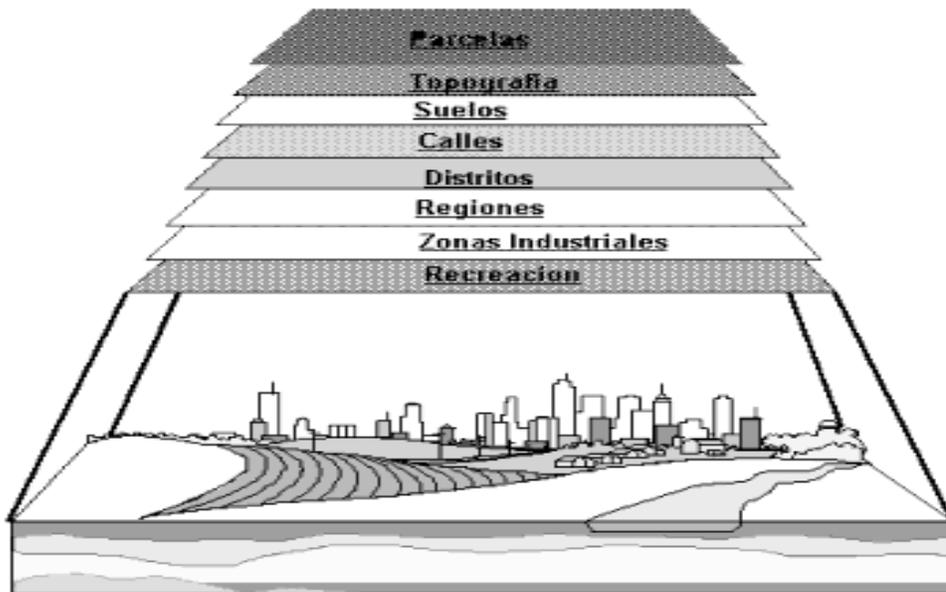
En el caso de las áreas destinadas al aprovechamiento de los recursos pesqueros (tanto continentales como marítimos), de los recursos mineros y turísticos, se deberá controlar rigurosamente la racionalidad de su aprovechamiento para evitar los efectos degradantes de estas actividades.

5.7. Ordenamiento territorial en el mundo y síntesis conceptual.

El ordenamiento territorial no es una política nueva en el mundo. Los países europeos y algunos países latinoamericanos como Venezuela y Bolivia, cuentan con una experiencia significativa en este campo, cuyo conocimiento puede ser importante para apoyar los procesos incipientes que se desarrollan en países como Guatemala, Uruguay, Ecuador, Honduras, San Salvador, Costa Rica y Colombia.

Dentro de este contexto, el conocimiento de la experiencia internacional en materia de ordenamiento territorial cobra singular importancia. A continuación se realiza una síntesis de dicha experiencia con especial énfasis en conceptos, características esenciales, soporte jurídico, organización administrativa, instrumentos y contenido destacables.

Figura 56. Enfoques para la toma de decisiones.



5.8. Ejemplos de sistemas de ordenamiento territorial en el mundo.

Los países europeos manejan sus políticas de ordenamiento territorial dentro de un contexto tanto interno (nacional) como externo (internacional). De este modo, definen su papel en la organización y funcionamiento del espacio europeo y los escenarios de uso y ocupación de su territorio interno, a diversas escalas jerarquizadas.

En el contexto internacional, el ordenamiento territorial europeo es guiado por la "Carta Europea de Ordenación del Territorio", suscrita por todos los países de la Comunidad Europea, como resultado de la Conferencia de ministros responsables de la ordenación del territorio. La última carta de la cual se tiene referencia data de 1993. En ésta el OT se define como "la expresión espacial de las políticas económica, social, cultural y ecológica de cualquier sociedad.

Disciplina científica, técnica administrativa y acción política, concebida como práctica interdisciplinaria y global para lograr el desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio". Este concepto se reproduce en todos los países europeos adaptado a las condiciones y objetivos específicos de sus políticas nacionales, un ejemplo de esto es:

5.9. Sistema Alemán de Ordenamiento Territorial.

La administración del territorio de la República Federal de Alemania -RFA- se organiza a partir de cuatro niveles: El nivel nacional (federal), el nivel estatal (Länder) integrado por 16 estados, los cuales se dividen en regiones (de carácter administrativo y de planificación), existiendo en la actualidad 50.

Las regiones se subdividen en distritos (existen 543) y municipios, de estos últimos existen actualmente unos 16.175, distribuidos en 357.046 Km². En total la RFA posee una población de aproximadamente 82 millones de habitantes para una densidad de 230 Hab/km². Al relacionar la superficie total del país con el número de municipios nos da un dato de 22 km²/mun. y al relacionar la población total con el número de municipios nos da una densidad de 5.000 hab./mun. ciudad más poblada es Berlín con 3.500.000 habitantes, seguida por Hamburgo con 1.700.000, Munich, 1.300.000 y Bonn, 300.000.

Los datos anteriores permiten colegir un rasgo evidente en los países europeos: la alta densidad de población, asociado con la gran urbanización del campo. Sus municipios son pequeños territorios con un número de población que facilita su administración y manejo con una alta participación de la población.

Mientras menor es el espacio de los municipios mayor es el grado de pertenencia de la población y mayores las posibilidades de administración eficaz, siempre y cuando sean entidades con recursos financieros suficientes, como ocurre en Alemania.

5.9.1 Antecedentes y características destacables del ordenamiento territorial.

Una de las características destacables de la política alemana de OT es su descentralización. En este sentido las regiones representan un papel protagónico. No existen planes nacionales, sino programas mediante los cuales el estado nacional y los estados federales orientan los planes regionales, provinciales y municipales.

El OT se entiende en el sentido de planificación física espacial con un fuerte énfasis ambiental. La formulación y ejecución de estos planes se sustenta en un marco normativo sistemático y completo, con un cubrimiento total del país, a partir de planes y programas de nivel regional y subregional y amplia participación social en el proceso ordenador.

Es notable, además, la estrecha coordinación entre las políticas ambientales y el OT que se manifiesta en la integración de ambas políticas en un único ministerio, el fuerte peso de los temas ambientales en los contenidos de los planes territoriales regionales y subregionales y la exigencia de evaluación de impacto territorial (EIT) como un primer nivel de evaluación de impacto ambiental (EIA) de las obras y proyectos de inversión que se realicen.

5.9.2 Soporte jurídico y organización administrativa.

El principal soporte legal de la política alemana de OT lo constituye, en el nivel internacional, la Carta Europea de OT y, en el nivel nacional, la Ley de OT de la República Federal. Las directrices de estas normas se concretan en los planes regionales, provinciales y municipales, cuya formulación y ejecución se realiza a partir de una organización administrativa jerárquica que incluye los siguientes niveles: nacional (federal), estatal, regional, subregional y municipal.

En el nivel federal, la organización administrativa del OT parte de dos organismos de tipo político: la "Comisión Delegada de Gobierno para la Ordenación del Territorio" y la "Comisión de Ordenación del Territorio, Construcción y Urbanismo" del parlamento y un organismo ejecutor.

el "Ministerio Federal de Ordenación del Territorio, Construcción y Urbanismo" encargado de la coordinación y evaluación de las actuaciones de los ministerios sectoriales federales y estatales frente a las regiones y la representación de la posición alemana en el ordenamiento europeo.

Para la coordinación intersectorial el ministerio se apoya en la "Comisión Interministerial de Ordenación del Territorio", la cual tiene asiento en la "Comisión Interministerial de Política Económica Regional".

La coordinación vertical entre la federación y los estados es realizada por la "conferencia de Ministros Estatales Responsables de la Ordenación del Territorio" integrada por el Ministro Federal de OT y sus 16 colegas de los estados.

Existen, además, varios organismos con funciones de asesoramiento científico al Ministerio: se destacan la "Agencia Federal de Ordenación del Territorio", el "Consejo Asesor de Ordenación del Territorio", la "Academia para la Investigación y Planificación Territorial de Hannover" y el "Instituto Central de Planificación Territorial" de la Universidad de Münster. En este sentido, existe en Alemania un vínculo entre las decisiones políticas relativas al OT y la producción académica y científica. Es decir la política de OT tiene un sentido técnico-político.

En el nivel estatal no existe uniformidad en el sistema de gestión del ordenamiento territorial y su relación con la política ambiental.

Sin embargo, predomina la visión de que entre la política de OT y la de medio ambiente existen elementos comunes como el carácter plurisectorial de ambas políticas, su enfoque sistémico o integral, de largo plazo y la preservación de los recursos naturales; lo que ha llevado que en 9 de los 16 estados ambas políticas sean manejadas por un mismo ministerio.

En otros, el OT se adscribe a ministerios como los de economía, interior o ministerios específicos de Ordenamiento territorial integrado con urbanismo y vivienda. Cada estado elabora programas de OT, generalmente a 10 años, a través de los cuales se concretan las directrices nacionales y establecen directrices para las regiones.

El nivel regional es el más importante del sistema alemán de OT. Allí confluyen y se confrontan las políticas nacionales, estatales y municipales. Cada región posee un "Consejo Regional de OT" en donde tienen representación sus distritos y municipios. Algunos estados por ser muy pequeños no poseen nivel regional. En éstos los niveles estatal y regional coinciden, son los casos de Berlín, Bremen, Hamburgo y Saarland.

En el nivel subregional se destacan las mancomunidades de planificación territorial que existen en seis estados, las cuales elaboran y ejecutan, de manera autónoma, planes subregionales de OT, que integran municipios próximos con problemas comunes. En otros estados, son las autoridades de planificación territorial estatal las que elaboran los planes subregionales, con participación de los entes locales. Las subregiones se delimitan a partir de criterios de funcionalidad espacial, expresada en relaciones funcionales y económicas equilibradas, las cuales, por lo general, coinciden con las regiones funcionales de las ciudades de nivel subregional.

Dentro de este nivel existen, también, las áreas metropolitanas creadas para manejar conjuntamente las exigencias de transporte y servicios que plantean las grandes aglomeraciones urbanas (conurbaciones).

Finalmente el nivel local (municipal), cuenta para la gestión ordenadora con una oficina de planeación que puede ser pública o privada y un concejo municipal.

5.9.3 Instrumentos de gestión.

Los instrumentos fundamentales del ordenamiento territorial de Alemania son diseñados por los Länder (estados). La federación tiene un papel adjetivo.

En el nivel federal, el Ministerio de OT elabora el "Programa Federal de Ordenación Territorial" con el apoyo de los Länder y aprobado por la conferencia de ministros responsables del OT. La Federación debe presentar, de manera recurrente, al parlamento federal un informe federal de ordenación territorial, referido al estado del OT, las tendencias de desarrollo territorial y los proyectos con gran incidencia territorial.

El nivel regional, posee los instrumentos más importantes del ordenamiento territorial alemán: los planes o programas territoriales regionales -PTR-. de los Länder y los planes territoriales subregionales -PTS-, cuyas decisiones son de carácter vinculante para todas las entidades públicas. Para el sector privado constituyen orientaciones importantes para localizar sus inversiones, pero no son vinculantes. Las principales finalidades de los PTR son las siguientes:

- Atención de los centros superiores e intermedios del sistema de ciudades.
Ejes de desarrollo de nivel regional que conectan los centros superiores e intermedios. La jerarquía de la red de vías de comunicación.
- Orientación de la planificación subregional. Delimitación de áreas de aglomeración urbana, zonas rurales y áreas de promoción económica o de ayudas de infraestructuras. Localización óptima de las obras de infraestructura zonificaciones de los usos preferidos de la tierra áreas.

Los planes regionales de OT son elaborados, para una vigencia de 5 años, por el Comité de Planificación Regional, integrado por distintas asociaciones comunales, gremios económicos y sociales. En el proceso de elaboración tienen participación los distritos, municipios y entidades de interés público, de modo que el plan refleje las necesidades de estas entidades. La aprobación del plan la realiza en primera instancia el consejo de planificación regional del que hacen parte todos los municipios y distritos y en segunda instancia por el ministerio estatal de OT, quien verifica si se ajusta a las directrices dada por el Länder respectivo.

La cartografía que acompaña a los planes de OT normalmente se realiza a escala 1:100.000. Básicamente son dos mapas: uno referido a urbanización y paisaje y el otro a transporte y abastecimiento. En ambos aparece la situación actual y la que se aspira a tener en el horizonte de tiempo del plan.

En el nivel subregional se elaboran planes subregionales: de mancomunidades, distritos o áreas metropolitanas. Normalmente se refieren a las regiones funcionales y ejes de desarrollo de los centros urbanos de nivel subregional.

Las áreas de localización de actividades industriales y empresas de servicios de carácter subregional. La localización de plantas de tratamiento de desechos. Zonificación de la subregión con fines de usos determinados. Las áreas verdes de interés subregional.

En el nivel local (municipal) se elaboran dos tipos de planes: el "plan de uso de la tierra" -PUS- y los planes urbanísticos o de construcción -PC-. Tal como lo describe MÜLLER (1998:87), el PUS se elabora a 10 años, previo estudio diagnóstico para identificar y valorar los escenarios de desarrollo futuro. Normalmente lo compone un mapa integral y un documento técnico de soporte.

El mapa se elabora a escalas que oscilan entre 1:10.000 y 1:20.0000. Anexo al PUS se elabora un plan de manejo ambiental el cual es requisito indispensable para su aprobación. Para facilitar los análisis comparados de los planes municipales existen unos estándares de escalas y convenciones establecidos para este fin.

Los PC, abarcan sólo una porción de municipios que puede ser un nuevo barrio, un lote o edificio, etc. Sus acciones deben responder a lo establecido por el PUS respectivo.

Por ejemplo: el PUS dice que tal área es para urbanización futura y el PC dice como se estructurarán las calles, la forma de las viviendas, altura máxima de los edificios, tipos de fachadas, los tipos de plantas de los jardines, tamaño de patio interiores, zonas de parqueo público, áreas a arborizar etc.

Los PC son de carácter indefinido en el tiempo y se acompañan de un "Plan de Ordenamiento Ambiental", muy importante para evitar efectos ambientalmente degradantes y valorar las compensaciones a que haya lugar como resultado de las obras que se realicen.

Una característica destacada de la formulación de PUS y PC lo constituye su carácter democrático. En el proceso de formulación los ciudadanos y entidades públicas y privadas pueden hacer observaciones al proyecto del plan.

En tal sentido, la población es informada del plan mediante "asambleas informativas" y es expuesto durante seis semanas, en el concejo municipal o alcaldía, para el escrutinio público. Simultáneamente es enviado a distintas entidades públicas y privadas para sus observaciones. Una vez que el plan es aprobado por el municipio pasa a la oficina del presidente regional para su visto bueno.

La alta participación de la sociedad hace que el proceso de formulación y aprobación de un PUS sea dispendioso y lento, razón por la cual dicho proceso puede tardar hasta tres años, si se mantienen la misma composición política del Concejo municipal.

5.10 Sistema español de ordenamiento territorial.

España posee una extensión de 504.750 km², un poco menos de la mitad del territorio continental colombiano, habitado por 40'000.000 de personas para una densidad total aproximada de 79 hab./km².

Su organización político administrativa se estructura a partir de 17 regiones o comunidades autónomas, 50 provincias y 8.077 municipios, éstos últimos tienen en promedio 62 km² y 5.000 habitantes.

La gestión del ordenamiento territorial en España se realiza a partir de cuatro niveles territoriales: nacional, regional, subregional y local. El origen de la política de OT se remonta a 1956 con la Ley del Suelo, la cual fue reformada en 1975 y 1990. Esta Ley prevé un marco normativo general para el territorio y una estructura jerárquica de planes que va desde el Plan nacional, planes directores territoriales de coordinación, planes generales municipales y planes especiales, entre los más destacados.

En el nivel nacional la base legal actual del sistema de OT, la constituye la " Ley de Régimen del Suelo y Ordenación Urbana de 1992", la cual reúne toda la normatividad anterior sobre planificación urbana y los instrumentos propuestos por las diferentes regiones. Esta ley autoriza la elaboración de un plan nacional orientador de los planes regionales, el cual nunca se ha hecho ni está en proyecto realizarlo.

El ordenamiento territorial español está descentralizado en el nivel regional, como efecto de la constitución de 1978, que transfirió las competencias de OT a las distintas instancias regionales. En consecuencia, las regiones establecen sus propias leyes sobre ordenación del territorio, planificación y urbanización, sin menoscabo de las competencias de la nación.

Esta situación hace difícil hablar de un sistema nacional de OT, pues en los actuales sistemas regionales se encuentra mucha variabilidad en cuanto a objetivos, instituciones e instrumentos, como reflejo de variabilidad territorial y de los distintos niveles de desarrollo de la planificación, realiza una relación de las principales normas de las comunidades autónomas españolas, hasta 1995, que incluye:

- Andalucía: Ley de OT(1/94)
- Aragón: Ley de OT (11/92)
- Asturias: Ley de Coordinación y Ordenación Territorial (1/87)
- Baleares: Ley de OT (8/87)
- Canarias: Ley Reguladora de los Planes Insulares de Ordenación (1/87) y ley de Disciplina Urbanística y Territorial (7/90)
- Cantabria: Ley de OT (7/90)
- Cataluña: Ley de Política Territorial (23/83)
- Galicia: Ley de OT (10/95)
- Valencia: Ley de OT (6/89)
- Madrid: Ley de Medidas de Política Territorial, Suelo y Urbanismo (9/95)
- Murcia: Ley de Ordenación y Protección del Territorio (4/92)
- Navarra: Ley de OT y Urbanismo (10/94)
- País Vasco: Ley de OT (4/90)

Generalmente los planes regionales definen medidas de protección del medio ambiente, determinan las infraestructuras, establecen mecanismos de integración de las políticas sectoriales (transporte, carreteras, abastecimiento de agua) y los planes locales de ordenamiento y desarrollo.

En el nivel subregional, las provincias representan un papel subsidiario en el ordenamiento territorial.

En el nivel local, los municipios tienen la competencia de la planificación de los usos del suelo, en cuanto a su ocupación y uso, así como la reglamentación de la construcción. El proceso de elaboración de un plan municipal puede tardar entre 1 y 3 años, generalmente se formulan para ser revisados cada cuatro años. Tienen fuerza de ley y son de obligatorio cumplimiento.

El interés de los planes en los distintos ámbitos territoriales se concentra en:

- Armonización entre el desarrollo económico y el bienestar social en el contexto de la Unión Europea.
- Estimulo del desarrollo regional.
- Definición de estrategias territoriales.
- Distribución espacial de las actividades económicas y de la utilización del suelo en todo el territorio.
- Inserción de consideraciones ambientales en la toma de decisiones.
- Planificación de las redes de transporte.
- Coordinación entre los distintos niveles territoriales.

5.11 El ordenamiento territorial en Guatemala.

El territorio Guatemalteco tiene una extensión de 109.000 km², donde viven 11'242.000 habitantes, para una densidad de 103 hab./km². Su organización político-administrativa de estructura a partir de 22 departamentos divididos en municipios. Su ciudad principal es Ciudad de Guatemala con 1'667.000.

Al igual que en Costa Rica, el ordenamiento territorial Guatemalteco está en proceso de desarrollo. Aún no existe ley orgánica, ni orientaciones nacionales articuladas, sino un conjunto de leyes parciales que constituyen las bases legales para el actual proceso de construcción de la política de OT de este país.

Dicho proceso está siendo jalonado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente -CONAMA-, entidad que en conjunto con el consejo de la Tierra y la financiación de la Fundación Ford está elaborando documentos de discusión y reflexión orientados al establecimiento de una política nacional integral de OT. Toda esta discusión hace parte del desarrollo de la "Política Ambiental para el Desarrollo Sustentable" aprobada por la CONAMA en enero de 1998.

En los elementos de dicha política se refleja, en gran medida, la adopción que se ha hecho en este país de las directrices establecidas por la Agenda Latinoamericana sobre medio ambiente y desarrollo, descrita antes. En diciembre de 1998, la CONAMA produjo un documento de discusión titulado "Ordenamiento Territorial o Regulación del Comportamiento Espacial", el cual constituye la fuente de información de las consideraciones que siguen.

Ante la ausencia de una ley orgánica de OT que garantice el manejo integral, armónico y coordinado del territorio, el esquema de OT actual es producto de la actuación de actores institucionales públicos y privados, regulados por diversas normas legales específicas y de alcance parcial, dentro de las que se destacan: La Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), ambas con un fuerte énfasis hacia lo urbano.

Estas normas se complementan con la Ley Orgánica Constitucional de Gobierno y Administración Regional que establece de manera explícita las funciones que el gobierno regional debe desarrollar en materia de ordenamiento territorial.

Del mismo modo, existe una Política Nacional de Uso del Borde Costero que constituye un tipo de ordenamiento para estas áreas (Guatemala, comisión nacional de medio ambiente de Guatemala, 1998).

Para los ámbitos rurales existen diversas normas reguladoras relativas a: el uso del suelo, monumentos nacionales, minería, áreas silvestres privadas, manejo forestal, división de predios rústicos, descontaminación, zonas de interés turístico, ordenación de cuencas, manejo de zonas indígenas, entre otras.

En lo conceptual, la tendencia es a concebir el OT dentro de la perspectiva ambiental, debido, quizás, al carácter de la institución que más está trabajando en el tema: la CONAMA.

Dentro de este contexto, el OT se ha definido como "la acción estatal ejercida consensuadamente, que permite la integración pública y privada, orientada a armonizar los usos del territorio, tanto público como privado, propendiendo a un uso racional y sustentable del territorio en su más amplio sentido" (GUATEMALA, COMISIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE DE GUATEMALA, 1998).

Se entiende el OT integrado por tres dimensiones: económica, social y ambiental, cuyas finalidades, metas, planes y proyectos deben ser armónicos, complementarios y viables.

Como objetivos de la política de ordenamiento territorial ambiental se reconocen, entre otros:

- Corregir y prevenir impactos ecológicos y paisajísticos.
- Corregir y prevenir la sobreexplotación y/o subutilización de recursos naturales.
- Corregir y prevenir la localización de actividades productivas y de asentamientos humanos en áreas de riesgo natural.
- Adecuar el marco institucional, normativo e instrumental para la regulación ambiental del territorio.
- Implementar mecanismos y sistemas de coordinación y gestión.

Dentro de las líneas de acción se proponen:

- Desarrollar instancias de coordinación intersectorial.
- Perfeccionamiento de los instrumentos de Ordenamiento territorial existentes, que incluye: apoyos metodológicos y técnicos, mecanismos de gestión y seguimiento de los planes.

- Propuesta de nuevos instrumentos, entre los que se destacan: Desarrollo de instrumentos de ordenamiento del medio rural. Desarrollo de incentivos y desincentivos económicos territoriales.
- Implementación de planes de OT para unidades geográfico-ecológicas, no coincidentes con los límites político-administrativos (cuencas hidrográficas, por ejemplo).
- Desarrollo de un marco legal para proteger áreas de valor patrimonial no protegidas actualmente.
- Implementación de un sistema de evaluación ambiental estratégica.

5.12. Cualidades del OT en el mundo.

Como características claves del OT en el mundo se destacan:

- Visión integral del territorio y multidimensionalidad de las políticas y planes de OT.
- Énfasis en la planificación física espacial.
- Existencia de directrices jerarquizadas: Nacional, regional, subregional, local.
- Sólida organización institucional para la gestión ordenadora que garantiza la orientación y coordinación horizontal y vertical de las entidades participantes en el proceso y la integración de las políticas y planes sectoriales y territoriales.
- Alta participación social y concertación de los escenarios futuros de OT.
- Valoración del OT como estrategia de apoyo para el logro del desarrollo sostenible.
- Respaldo político y financiero a los planes de OT.
- Visión prospectiva de los planes y continuidad en el tiempo.

- Disponibilidad de información de buena calidad y apoyo a las entidades productoras de información geográfica/territorial, las cuales se consideran fundamentales para el éxito del OT.
- Divulgación amplia de los planes entre los ciudadanos y preocupación por la educación en el tema.

5.13. Problemas que conciernen al OT en el mundo.

Predomina en el mundo el reconocimiento de los siguientes problemas como concernientes al OT:

- Conflictos de uso de la tierra por incompatibilidad.
- Aprovechamiento no sostenible de los recursos naturales.
- Ocupación de áreas sujetas a amenazas naturales.
- Desarrollo espacial de corredores viales, redes de transporte y de comunicaciones.
- Expansión urbana desordenada.
- Desequilibrios en el acceso a servicios públicos y sociales en áreas urbanas y rurales.
- Desequilibrios territoriales de la distribución de actividades y oportunidades de empleo.
- Desequilibrios de la organización urbano-regional.
- Desequilibrios en el desarrollo urbano y rural y sus interdependencias.
- Elevación de la competitividad territorial

5.14. Logros del OT en el mundo.

Con las políticas de OT se pueden alcanzar los siguientes logros:

- La definición de los mejores usos de los espacios de acuerdo con las potencialidades y límites presentes en el territorio.
- La orientación de los procesos de urbanización, industrialización y desconcentración económica.
- Una distribución equilibrada en el territorio de las actividades y usos del suelo.
- La articulación e integración del territorio tanto internamente como con el exterior.
- Una mayor habitabilidad del medio rural.
- La protección del patrimonio natural y cultural.
- La prevención de desastres de origen natural y antrópico.
- El fortalecimiento de la competitividad de los territorios.
- Una red urbana equilibrada en su distribución espacial y de tamaños.
- Una organización del espacio urbano más funcional y acorde con el desarrollo humano sostenible.
- La localización óptima de las infraestructuras, equipamientos y servicios.
- Una mejor localización de las instalaciones productivas.

5.15. El plan de desarrollo metropolitano metrópolis 2010 y el plan de ordenamiento territorial del área metropolitana de Guatemala.

La Ciudad de Guatemala ha crecido virtualmente sin planificación desde la época en que fue fundada hace 220 años. Y se dice “virtualmente” porque aunque se hicieron esfuerzos serios de planificación, especialmente con la formulación del Esquema Director de Ordenamiento Metropolitano -EDOM- en 1975, y PLANDEUR y PLANDEMET, posteriormente; el primero tuvo problemas al llegar a niveles regulatorios y los dos siguientes se quedaron al nivel de diagnóstico.

El Plan de Desarrollo Metropolitano METROPOLIS 2010 fue aprobado en 1995. Se diferencia de los planes anteriores, en primer lugar, por ser una propuesta participativa e integral en la que participaron las entidades de gobierno relacionadas con el desarrollo urbano, con el apoyo representantes del sector privado y de organismos internacionales; en segundo lugar pero con gran importancia se diferencia en que no es un “plan libro”, sino que es un plan vivo que se ejecuta a través unidad ejecutora creada para tal fin, y que además es la primera unidad municipal auto sustentada y financiada a través de su propia gestión y la participación del sector privado.

Los planteamientos de METROPOLIS 2010 fueron presentados a la ciudadanía por medio de dos simposios en los que participaron todos los sectores interesados y un tercer simposio de evaluación y presentación de avances tres años después de su aprobación.

METROPOLIS 2010 hace un diagnóstico de la ciudad en el contexto internacional y en el nacional y establece una imagen rol para la misma como centro de operaciones turísticas basada en los potenciales que la ciudad presenta para convertirse en una ciudad ecológica y un centro histórico y cultural. En este plan se definen las políticas y estrategias para abordar el desarrollo del área metropolitana y el correspondiente plan de acción para el período 1995 –2010.

El objetivo central de METROPOLIS 2010 es el de orientar la dinámica de urbanización hacia el desarrollo sostenible en función humana.

Problemática:

Sin duda una de las principales causas de la problemática del Área Metropolitana es la falta de una regulación adecuada de los usos del suelo y un débil control de su aplicación. El objetivo central de los planes maestros del área es orientar el proceso de urbanización hacia un desarrollo sostenible. En términos generales el concepto de desarrollo sostenible se refiere a la existencia de una sociedad relativamente estable, en la que la población esté en balance con los recursos y el entorno.

El concepto de “sostenibilidad” implica el reconocimiento de los límites que se tienen para el crecimiento. Si esos límites no existen o no se percibe su existencia el resultado es uno: El uso irracional del territorio y la sobreexplotación de sus recursos; tarde o temprano el concepto de sostenibilidad irá aumentando de importancia en la medida que se agudice la escasez de los recursos.

La percepción de la escasez cobra importancia para esta ciudad frente al avance del proceso de urbanización y el reconocimiento de los límites que la misma tiene en el tiempo y el espacio. La comprensión de estos límites determina los factores que deben ser considerados en la ecuación de oferta y demanda en la sostenibilidad del desarrollo y el manejo sostenible del territorio de la Ciudad de Guatemala.

El primero de estos factores es la disponibilidad limitada de tierra adecuada para ser urbanizada. La ciudad rebasó hace más de tres décadas los límites político-administrativos de la jurisdicción del Municipio de Guatemala y adquirió dimensiones de orden metropolitano.

Actualmente se encuentra fuertemente conurbano con los municipios de Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Chinautla.

Si bien los límites político-administrativos fueron rebasados, el límite geográfico de la cuenca del Valle de la Ciudad de Guatemala tiene implicaciones más significativas en términos de la sostenibilidad que se busca. En función de la sostenibilidad del desarrollo y de la consecución de los objetivos que se proponen para la ciudad, ciertas condiciones deben conseguirse idealmente dentro de la cuenca del valle. Entre las condiciones más importantes cabe enumerar:

La protección de áreas estratégicas para la conservación de recursos naturales básicos, principalmente las áreas de recarga de acuíferos, para propiciar la conservación de los mantos de agua y los sumideros de carbono, para la renovación y purificación del aire que será consumido por la misma población.

La conservación de la cobertura vegetal de las áreas con pendiente, especialmente en los barrancos y las montañas que rodean la cuenca del valle, por sus implicaciones en el sistema de precipitación pluvial, la erosión y los desastres naturales, un área perimetral de amortiguamiento que evite la conurbación indefinida de la ciudad con el resto de áreas urbanas de los municipios vecinos, el rescate del atractivo original de las áreas que permita convertir a la ciudad en un destino turístico, el porcentaje de área verde que la población de la ciudad requiere.

Las características geológicas del Valle imponen limitaciones a la expansión urbana, el mayor porcentaje del área del valle presenta una alta susceptibilidad a la erosión y los deslizamientos. El Valle de Guatemala tiene una extensión de 75,000 hectáreas de las cuales 40,000 hectáreas corresponden a la vertiente sur que es el área de estudio. Solo en la vertiente sur, las áreas con pendientes superiores a los 30 grados en barrancos y laderas de montañas suman cerca de 9,000 hectáreas, se estima que en todo el Valle ascienden a 12,500 hectáreas.

En este tipo de áreas la susceptibilidad a la erosión y los deslizamientos aumenta en ausencia de cobertura vegetal así como el riesgo a sus habitantes. Además de que los barrancos no son áreas aptas para construir, el mayor porcentaje del remanente de la cobertura vegetal del Área Metropolitana está en los barrancos y en las laderas de las montañas que rodean al valle. La cobertura vegetal también tiene un efecto determinante en el sistema de precipitación pluvial, por el efecto magnético que ejerce sobre el agua en suspensión, especialmente en las laderas del graben que corresponde con el valle.

El segundo de estos factores es la competencia entre el número creciente de personas sobre la misma área de territorio. Según las cifras que el plan de desarrollo obtuvo de los censos de población 1964, 1973, 1981 y las proyecciones de SEGEPLAN - SIECA - CELADE, para el año 2010 la población del Área Metropolitana alcanzará los 4.7 millones de habitantes urbanos más 649,000 rurales para un total de 5.4 millones de habitantes. De este total, por lo menos el 60% habitará en la vertiente sur.

El efecto del crecimiento exponencial de la población se refleja en el crecimiento físico que la ciudad ha tenido. El área urbanizada de la ciudad de Guatemala alcanzaba en 1988 una extensión de 18,000 hectáreas.

Algunas fuentes indican que en el año 1990 tal extensión era de 24,000 hectáreas. Se estima que a la fecha alcanza ya las 35,000 hectáreas. Sobre esa base y la del monitoreo que se ha hecho del crecimiento de la ciudad, se establece que la misma se ha expandido a un ritmo de 3.6 % anual, con usos del suelo de tipo extensivo; a ese ritmo, se estima que para el año 2010 la ciudad alcanzará una extensión de 55,000 hectáreas. El crecimiento de la ciudad se ha dado principalmente hacia el sur, en el área de la vertiente del Lago de Amatitlán. La tasa de crecimiento del área central de Guatemala declinó y la de Mixco se estabilizó en los últimos años, mientras la tasa de crecimiento de Villa Nueva alcanzó en 1997 el 13% anual.

Por primera vez, en el corto plazo, se agotarán las áreas apropiadas para la expansión urbana dentro del valle, “la ola expansiva tocará sus bordes naturales y tendrá que revertirse para hacer un uso más intensivo y racional del mismo territorio”.

En ese proceso de reversión, la ciudad podría crecer en los próximos diez años lo que ha crecido en sus 220 años de historia; la presión que se ejercerá sobre las áreas inadecuadas y las áreas de reserva será demasiado fuerte como para hacer depender el futuro de la ciudad de la incipiente concientización ambiental o para hacer frente a los intereses económicos sobre la explotación del territorio y sus recursos.

Se requieren normas claras, bien sustentadas, una estrategia conciliada y una celosa vigilancia del manejo de estas áreas críticas. El tercer factor es la pérdida de la eficiencia de las funciones urbanas y el deterioro de la calidad de vida.

La mayoría de las ciudades de los países latinoamericanos han adquirido dimensiones macrocefálicas como reflejo de la preminencia de gobiernos centrales y como consecuencia de las ventajas que ofrecían las economías de escala y la acumulación. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que son tan fuertes los efectos antieconómicos que provocan el uso irracional del territorio y sus recursos como el congestionamiento urbano, la contaminación, la violencia y los fenómenos de desastre, que en la mayoría de ciudades se ha iniciado una etapa de reversión de la polarización urbana, en parte en forma espontánea y en parte inducida por las políticas de descentralización y desconcentración de funciones.

Aunque las ciudades alcancen dimensiones innecesarias, no deben tolerarse los niveles de contaminación de las aguas que se han alcanzado en esta ciudad y menos aún el agotamiento de las fuentes de agua subterráneas.

Si los depósitos subterráneos no se recargan, además de sus implicaciones en la dotación del agua, se incrementará el riesgo que el valle presenta para las actividades urbanas por la posible subsidencia del suelo que aumenta especialmente en ocasión de actividades sísmicas, que son propias de la región central.

Es responsabilidad de las autoridades propiciar el ordenamiento del territorio y generar los instrumentos que permitan el funcionamiento eficiente de la ciudad y adecuar los usos urbanos a las vocaciones y limitaciones que presenta el territorio para evitar los usos en conflicto, el riesgo al ambiente y a la vida de sus habitantes. La transición hacia el ordenamiento requerirá de un esfuerzo considerable de todos los actores urbanos, y habrá que mantener presente en cada acción que el desarrollo de cada municipio, de la región y del país entero depende de la eficiencia del funcionamiento de esta ciudad.

5.16. El Plan de Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana -OTAM-

El Plan de Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana -OTAM- está basado en las políticas y estrategias formuladas en el Plan de Desarrollo Metropolitano “Metrópolis 2010” y está dirigido a regular los usos del suelo y orientar las acciones hacia la consecución del objetivo común que es orientar la dinámica de urbanización hacia un proceso de desarrollo sostenible.

El OTAM es uno de los instrumentos básicos de la modernización de la gestión territorial del área metropolitana, conjuntamente con el Reglamento Único de Construcción y Desarrollo Urbano el cual contiene el resto de la norma urbanística y administrativa en apoyo al Proceso de Otorgamiento de Licencias de Construcción.

Constituye a su vez uno de los instrumentos claves del desarrollo sostenible del territorio del área metropolitana de Guatemala -AMG-, que ha requerido combinar la tecnología y las políticas orientándolas a integrar los principios socio-económicos con conciencia ecológica, buscando:

- Mantener y promover la producción de bienes y servicios
- Reducir el nivel de riesgo de las actividades urbanas
- Proteger el potencial de los recursos naturales
- Prevenir la degradación del medio y de la vida humana
- Ser económicamente viable y socialmente aceptable

Cualquier avance en el proceso deberá medirse frente a estos objetivos de productividad, seguridad, protección, prevención, viabilidad y aceptabilidad.

La propuesta de ordenamiento territorial que aquí se presenta está basada en los lineamientos de los planes maestros del área metropolitana y del rescate del Lago de Amatitlán.

Cuando se comparan los lineamientos de los planes maestros del área con las observaciones de reconocidos economistas urbanos, las experiencias de otros países y las recomendaciones de organismos internacionales se cuenta con indicadores válidos para saber que se lleva el curso correcto en el ordenamiento de la ciudad, cuando se ve que lo que se busca para esta ciudad es lo que se ha abogado durante años en ciudades de países desarrollados que tienen una larga tradición de planificación urbana. Los aspectos en que se coincide han servido de referencia a lo largo de la formulación de la presente propuesta y se sumarian a continuación.

5.17. Zonificación.

La zonificación es el instrumento particular que se ha elaborado para entregarlo a cada municipalidad para proponer una forma concreta de ordenar el uso de su territorio y controlar el desarrollo urbano.

Algunas pocas municipalidades poseen zonificación, sin embargo no cubren la totalidad de su jurisdicción, su concepción se ha limitado a una subdivisión de clases sociales y no han tomado en cuenta los aspectos físicos del territorio, especialmente si se recuerda que la ciudad está asentada en un valle de alto riesgo por sismos y deslizamientos.

Los principios de la nueva zonificación están orientados a conseguir el desarrollo sostenible de la ciudad, que fue fijado como objetivo principal y simultáneamente:

- Orientar los usos del suelo a la consecución de la imagen objetivo de la ciudad.
- Orientar los usos del suelo y sus densidades a la consolidación del patrón usado y la eficiencia de sus funciones, revertir la polarización de las funciones metropolitanas.
- Balancear el crecimiento y racionalizar la distribución de infraestructura y servicios.
- Inducir el cambio de uso de tipo extensivo a un uso más intensivo del territorio.
- Definir las zonas de régimen especial.
- Cerca de 10,000 hectáreas de las áreas remanentes de la subcuenca se proyectan como zona E o de conservación ecológica, de las cuales aproximadamente el 60% será dejado libre, o sea como área verde.

- Las zonas residenciales de la R a la E incluyen un porcentaje de áreas destinadas a facilidades institucionales, comerciales e industriales de pequeña escala y bajo impacto.
- Con la declaración del cinturón ecológico la ciudad alcanzaría un índice de aproximadamente 80 metros cuadrados de área verde por habitante y conservaría un índice de aproximadamente 45 metros cuadrados de área verde por habitante para el año 2010. Cerca de 3,000 hectáreas, se proyectan como áreas de conservación y unas 12,000 hectáreas se han identificado como áreas de riesgo. Ambos tipos de áreas permitirán conformar el cinturón ecológico que servirá de amortiguamiento a la ciudad.
- Desconcentrar las oportunidades de trabajo y evitar la expansión desordenada de áreas residenciales en los suburbios.
- Acortar las distancias entre los lugares de trabajo y residencia.

5.18. Reglamento Único de Construcción Urbana.

Como ya se ha mencionado, cada municipalidad del área metropolitana aplica diferentes regulaciones y reglamentos de construcción. Por esta razón el plan ha propuesto un reglamento único de construcción que funcione como un instrumento general para todos los municipios del área, en otras palabras, se busca contar con reglas claras y que el constructor o propietario reciba el mismo tratamiento en todos los municipios. Se hizo necesario revisar y actualizar todos los reglamentos y regulaciones que norman el desarrollo urbano, especialmente aquellas relacionadas con la ocupación del espacio urbano.

En la municipalidad de Guatemala, se han aplicado seis diferentes reglamentos relacionados con la ocupación del espacio y la construcción urbana: construcción urbana, lotificaciones, localización e instalación industrial, viviendas individuales con áreas comunes en copropiedad, Empagua y vivienda de interés social o de quinta categoría.

El Plan de Desarrollo Metropolitano ha elaborado el Reglamento Único de Construcción y Desarrollo Urbano que se propone para que funcione como un instrumento general para todos los municipios del área, en otras palabras, se busca contar con reglas claras y que el constructor o propietario reciba el mismo tratamiento en todos los municipios. La zonificación es parte constitutiva del reglamento. Si los municipios del área adoptan el reglamento propuesto se tendría resuelta la unificación de la norma administrativa y urbanística del desarrollo urbano.

Para lograr implementar la presente propuesta de ordenamiento territorial fue necesario realizar algunos ajustes a los reglamentos, los más significativos son los siguientes:

- I. La zonificación propuesta es el punto de partida para realizar las transformaciones necesarias en la regulación del uso del suelo, de esa cuenta dicha zonificación es parte importante en los nuevos reglamentos y de ella se derivan otras modificaciones. Importa resaltar la incorporación de una nueva zona llamada ecológica o zona de baja densidad.

- II. Cambios en la ocupación territorial se hacen indispensables y se utiliza para ello diferentes índices de ocupación unifamiliar de acuerdo a cada zona propuesta. En términos generales, los índices de ocupación son altos en las zonas de alta densidad, ocupando hasta el 70% del terreno en los proyectos habitacionales, en contraposición con los bajos índices de ocupación en las zonas de baja densidad o zonas ecológicas que ocupan sólo el 40% del terreno.

- III. También se proponen cambios en los índices de ocupación multifamiliar, promoviendo que al interior de las comunidades urbanas se construyan edificios no mayores de cinco niveles.

- IV. El reglamento de lotificaciones también se modifica y se actualiza a las demandas actuales, incluyendo dentro del mismo las normas referentes a terrenos menores de 10,000 metros cuadrados.

- V. En términos generales el reglamento de Localización Industrial tendrá cambios en cuanto a los requisitos para presentar solicitud, será ajustado a la nueva zonificación y los límites permisibles de las sustancias serán ajustados a normas internacionales y a las condiciones locales imperantes.

- VI. En cuanto al régimen de condominio, hay que acotar que ha sido una modalidad muy usada por los desarrolladores urbanos, razón por la cual se promueve la adopción de este tipo de proyectos a través del reglamento de viviendas individuales con áreas comunes en copropiedad.

Se modifica en el sentido de que además del requerimiento de área verde, se incluye el requerimiento de área necesario para que los vecinos cuenten con espacio para construir un salón de usos múltiples que pueda usarse en el día como guardería infantil y en las noches como salón de sesiones del condominio. Lo anterior apoyará por un lado, a la organización social y por el otro a la madre trabajadora.

- VII. Un cambio muy importante en los reglamentos es lo referente a los estacionamientos y parqueos. Se suprime la norma de compensación y se amplía el requerimiento para todas las edificaciones. Ello es importante si se desea lograr la fluidez en el tránsito, especialmente cuando la propuesta de ordenamiento territorial se apoya en el sistema vial.
- VIII. Finalmente, habrá en todos los reglamentos cambios en la forma de hacer cumplir los mismos, es decir se aplicarán medidas correctivas, tales como multas, sanciones y demoliciones.
- IX. A la fecha de elaboración de esta propuesta, se halla pendiente de aprobación del Congreso de la República el Proyecto de Ley de Cinturones Ecológicos de Guatemala. Sin embargo, con fecha 28 de junio de 1999, el Concejo Municipal aprobó el Reglamento de Régimen Especial de Áreas de Protección por Riesgo que es prácticamente el primer instrumento regulatorio del país que incorpora a los instrumentos de ordenamiento del territorio los requisitos técnicos para dictaminar la amenaza en cada sitio a desarrollar e incorpora también un patrón de ocupación del suelo con una función de conservación ecológica.

CONCLUSIONES

1. Con esta guía el docente, estudiante u otro profesional del área de Ingeniería Civil tendrá los lineamientos para ubicar y encontrar las coordenadas de un área o punto en específico en estudio, así como, también, lineamientos sobre lo que es el Ordenamiento Territorial, además de encontrar información de la tecnología y procesamiento de datos de la imagen satelital.
2. La Fotografía Aérea como la Imagen Satelital son una herramienta muy útil para cualquier profesional, ya que, con ésta se ubican áreas específicas, edificios, inmuebles en general que se solicita ubicar en cualquier documento de estudio, donde se construirá, explotará un material o se realizará un estudio de impacto ambiental, estos sólo son algunos ejemplos de donde se utilizarán estos conocimientos.
3. La Cartografía es de gran utilidad, ya que, en ella se representan detalles geográficos del área de interés, con ello se puede tener una idea de cómo es el terreno natural sin presentarse en el lugar, facilitando, así, un pre-estudio del área, para propósitos diversos de Ingeniería.
4. La designación de Fotografía Saletital no es apropiada, en virtud que la información que se administra no corresponde al proceso fotográfico como tal sino que es información digital que se traduce en imágenes que se pueden reproducir en diversas formas incluyendo impresiones que se asemejan a fotografías.

5. La Imagen Satelital nos ha traído cambios positivos para aminorar los desastres a escala mundial, ya que, con los satélites se tiene una visión sinóptica y continua del desplazamiento de huracanes, tormentas y demás desastres que el hombre no puede controlar, esto hace posible avisar, oportunamente, a miles de personas que pueden ser afectados por estos fenómenos naturales.

6. El Ordenamiento Territorial es muy importante para el mundo entero, ya que esto se trata de un proceso técnico, político y administrativo del uso del espacio, para que este contribuya al desarrollo humano pacífico ecológico sostenible, espacialmente armónico y socialmente justo.

7. En Guatemala, se debe estudiar y trabajar por un plan de Ordenamiento Territorial no sólo al nivel de ciudad de Guatemala, si no que, también, a nivel departamental, debido a que no existe este plan son notorias las consecuencias, en diversos campos de actividades humanas en las que cabe mencionar; congestionamientos vehiculares, contaminaciones del ambiente sin control, aglomeraciones humanas innecesarias que disminuyen la calidad de vida de los habitantes de las ciudades, éstas sólo son alguna de las consecuencias.

RECOMENDACIONES

1. La limitación más importante para investigar todo el entorno del tema de este trabajo de graduación, es el alto costo que tiene en el mercado el conocer todas las herramientas para su investigación; sin embargo, realizando las gestiones necesarias se puede establecer convenios con los fabricantes y empresas que tienen el acceso de aparatos y datos, para dar a conocer e incentivar a los estudiantes a la investigación de este tema e implementarlos como programas de trabajo estudiantil y profesional.
2. Para realizar este trabajo y desglosar los temas tratados anteriormente se investigó con datos que se utilizan el día de hoy, como sabemos cada día se actualizan muchos métodos y aparatos. Actualmente, existen muchos métodos que están en función y tipos de instrumentos, sin importar las características y cuáles se empleen, estos deben cumplir con las tolerancias que establecen las normas del ente regulador en el ámbito internacional.
3. La presente investigación no debe ser límite en cuanto a las herramientas y métodos relacionados al tema, pero sirve como introducción para explorar áreas no tratadas aquí, que pueden ser objetos de investigaciones similares a este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Apuntes del curso de topografía 3
2. Topografía Aplicada en ingeniería
Ing. Oscar Santizo Latorre
(1977).
3. Topografía y Fotografía en la Práctica Moderna
Editorial Ibiza
(1996).
4. Curso Elemental de Fotografía Aérea
Editorial Ocampo
(1988).
5. Glosario Términos Cartográficos y Fotogramétricos
Editorial Marck
(1994).
6. Instituto Geográfico Nacional