

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESIA ZACATENCO

INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“DETERMINACION DEL RIESGO
GEOLOGICO EN EL POBLADO DE
METZTITLAN, HIDALGO”**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

C. Marco Antonio de la Cruz Gómez

DIRECTOR DE TESIS:

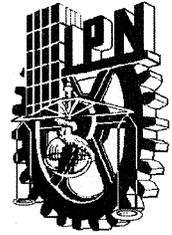
M. en C. José Jaime Martínez Corsa





SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



UNIDAD ZACATENCO
DIRECCIÓN
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES Y TITULACIÓN

“2009, Año de la Reforma Liberal”
“2009 Año Internacional de la Astronomía”
“75 Aniversario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas”
“50 Aniversario de XEIPN Televisión Canal Once”
“50 Aniversario de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos”

Of. No. SAC. EP.- 204- VIII - 2009.

ASUNTO: SE DESIGNA DIRECTOR DE TESIS

México, D.F., a 31 de agosto de 2009.

M. en C. JOSÉ JAIME MARTÍNEZ CORZA
PROFESOR DE LA E.S.I.A.
P R E S E N T E.

Con base en su experiencia profesional, actuación docente en la Academia de Vías Terrestres, y de acuerdo al Colegio de Profesores, ha sido designado director y asesor de la Tesis Profesional del C. MARCO ANTONIO DE LA CRUZ GÓMEZ, Pasante de la Carrera de Ingeniero Civil.

Por lo anterior, agradeceré a usted, nos informe por escrito el tema que deberá desarrollar, considerando los lineamientos a seguir para evaluar su informe final, solicitado por la Dirección de Educación Superior.

Se anexa copia de lineamientos.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarlo.

A T E N T A M E N T E
“LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PAZ”

DR. MIGUEL ÁNGEL VERGARA SANCHEZ
DIRECTOR



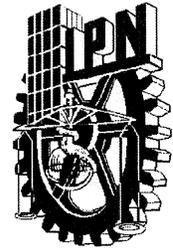
MAVSA/T/CMF/irm

ESCUELA SUPERIOR DE
INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ZACATENCO
DIRECCION



SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



UNIDAD ZACATENCO
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES Y TITULACIÓN

“2009, Año de la Reforma Liberal”
“2009 Año Internacional de la Astronomía”
“75 Aniversario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas”
“50 Aniversario de XEIPN Televisión Canal Once”
“50 Aniversario de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos”

Of. No.: SAC. EP.- 215 -IX- 2009.

ASUNTO: SE COMUNICA TEMA DE TESIS

México D.F., a 22 de septiembre de 2009.

C. MARCO ANTONIO DE LA CRUZ GÓMEZ
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
P R E S E N T E.

Informo a usted, que el M. en C. JOSÉ JAIME MARTÍNEZ CORZA, ha sido designado director y asesor en la realización de su Tesis Profesional, misma que deberá desarrollar en un término no mayor de un año a partir de la fecha del presente oficio conforme al siguiente tema:

“DETERMINACIÓN DEL RIESGO GEOLÓGICO EN EL POBLADO DE METZTITLÁN, HIDALGO”

CAPÍTULO I.-	INTRODUCCIÓN.
CAPÍTULO II.-	CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL ÁREA DE METZTITLÁN.
CAPÍTULO III.-	FOTOGRAMETRÍA.
CAPÍTULO IV.-	FOTOGRAMETRÍA DIGITAL.
CAPÍTULO V.-	RIESGO GEOLÓGICO.
	DESLIZAMIENTOS.
	CONCLUSIONES.
	BIBLIOGRAFÍA.

Se hace de su conocimiento que al finalizar su trabajo de Tesis, el asesor deberá firmar de conformidad antes de mandarlo a imprimir, esto con el propósito de que no existan errores en su impresión.

Sin otro particular, le saludo cordialmente.

ATENTAMENTE
“LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA”

ING. MA. DEL ALBA SUAREZ CHAVES
SUBDIRECTORA ACADÉMICA
UNIDAD ZACATENCO

C.C.P. Ing. Humberto Tavarez Rizo.- Presidente de la Academia de Vías Terrestres.

MACR/CMF/im

Av.0 Juan de Dios Batiz S/N, Edificio 10, Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” Zacatenco
Dele0g0. Gustavo A. Madero, México D.F. C.P. 07738, Tel. 5729 60 00 Ext. 53049

Declaración jurada y cesión de derechos

En la Ciudad de México, Distrito Federal, el día 29 de octubre del año 2010, quien suscribe **C. Marco Antonio de la Cruz Gómez**, pasante de la carrera de Ingeniería Civil con número de boleta **2004310187**, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, bajo protesta de decir verdad y consciente de las responsabilidades penales de este acto, **manifiesto ser autor intelectual del presente trabajo original de tesis titulado “Determinación del Riesgo Geológico en el poblado de Metztitlan, Hidalgo” y haber sido asesorado por M. en C. José Jaime Martínez Corsa**; el presente es resultado de mi trabajo y hasta donde sé y creo no contiene material propiedad de otro autor, ni material previamente publicado, así como tampoco material motivo de premios o que en su caso haya sido utilizado para la obtención de otro título académico de enseñanza superior, salvo los casos específicos en los que se indica con precisión en el mismo texto y se hace el oportuno y debido reconocimiento; por tanto libero a la Escuela de toda responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Siendo el autor intelectual de este documento, de conformidad cedo los derechos al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión social, académica y de investigación.

A los usuarios de la información aquí contenida, no se les autoriza a reproducirla textualmente por ningún medio, sin la autorización expresa de su autor, la cual se puede obtener solicitándola al correo marke284@hotmail.com

En caso de otorgarse la autorización de su reproducción, debe citarse la fuente de la información y manifestarse el agradecimiento correspondiente.



Marco Antonio de la Cruz Gómez

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por permitirme y darme la oportunidad de llegar a conseguir una de las metas más importantes en mi vida, y así seguir adelante en beneficio propio y de mi familia. También así seguir continuando el eterno aprendizaje.

A MIS PADRES:

Por darme la vida y brindarme apoyo incondicional durante mi existencia, sin el cual nada de lo que soy hoy, hubiese sido posible. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho, debo decir que hoy lo han logrado. Porque gracias a sus grandes esfuerzos y sacrificios me empujaron desde niño a superarme y hacer bien las cosas....GRACIAS. Los quiero mucho.

A MIS HERMANAS:

Por todo lo que han contribuido en mi formación profesional y como ser humano. Por la confianza que me tuvieron y por sus conocimientos que compartieron conmigo. También a sus familias, porque sin darse cuenta han sido motivo para llegar hasta donde estoy, son personas que siempre he querido y apreciado mucho.

A MIS PROFESORES:

Quienes son personas inquebrantables que gracias a sus conocimientos, virtudes y dedicación nos guiaron por el camino del saber siempre en busca de la verdad. Y de manera especial al M. en C. José Jaime Martínez Corza director y asesor de esta tesis profesional. Que además de ser un excelente profesor se convirtió en un gran amigo y consejero, que me ha sabido guiar por el buen camino y escuchar; a él le doy las gracias ya que sin su ayuda y experiencia, esto no hubiese sido posible.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

Que a lo largo de esta etapa nos esforzamos para poder llegar a cumplir la meta propuesta, llenas de alegrías y sinsabores, permitiéndonos desarrollarnos más como personas. Algunos llegamos hasta el final y otros se fueron quedando en el camino, pero de todos obtuve gratas experiencias que me han hecho madurar y que me han convertido en el hombre que soy.

A MI NOVIA

*Por todo lo que ha hecho por mí y por estar conmigo en las buenas y en las malas.
¡TE AMO!*

Finalmente, a todos que de manera indirecta, me alentaron para alcanzar unos de mis objetivos que a lo largo de la vida me servirá para, ser mejor día con día y a sí poder hacerlo tanto en mi vida privada como en lo profesional.

Índice General

INDICE GENERAL	i
INTRODUCCIÓN.....	viii
MARCO REFERENCIAL.....	xi
CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL ÁREA DE METZTITLAN.....	1
1.1. Estado de Hidalgo.....	2
1.1.1. Ubicación.....	2
1.1.2. Creación del Estado de Hidalgo.....	4
1.1.3. Desarrollo histórico.....	6
1.1.4. Origen.....	7
1.1.5. Economía.....	8
1.1.6. Turismo.....	8
1.1.7. Población.....	9
1.1.8. Educación.....	12
1.1.9. Deporte.....	12
1.2. Metztitlan.....	12
1.2.1. Historia.....	13
1.2.1.1. Reseña histórica.....	13
1.2.2. Medio físico.....	14
1.2.2.1. Localización.....	14
1.2.2.2. Extensión.....	16
1.2.2.3. Orografía.....	16
1.2.2.4. Hidrografía.....	17
1.2.2.5. Clima.....	19

Índice General

1.2.3. Principales ecosistemas.....	19
1.2.3.1. Flora.....	19
1.2.3.2. Fauna.....	20
1.2.3.3. Clasificación y uso del suelo.....	20
1.2.4. Perfil socio demográfico.....	21
1.2.4.1. Grupos étnicos.....	21
1.2.4.2. Evolución demográfica.....	21
1.2.4.3. Religión.....	21
1.2.5. Infraestructura social y de comunicaciones.....	21
1.2.5.1. Educación.....	21
1.2.5.2. Salud.....	22
1.2.5.3. Deporte.....	23
1.2.5.4. Vivienda.....	23
1.2.5.5. Servicios básicos.....	23
1.2.5.6. Vías de comunicación.....	23
1.2.5.7. Medios de comunicación.....	24
1.2.6. Actividad económica (principales sectores, productos y servicios)...	24
1.2.6.1. Agricultura.....	24
1.2.6.2. Ganadería.....	24
1.2.6.3. Pesca.....	25
1.2.6.4. Industria y comercio.....	25
1.2.6.5. Turismo.....	26
1.2.6.6. Población económicamente activa por sector.....	27
1.2.7. Atractivos culturales y turísticos.....	27
1.2.7.1. Monumentos históricos.....	27
1.2.7.2. Fiestas, danzas y tradiciones.....	28

Índice General

CAPÍTULO II. FOTOGRAMETRÍA.....	30
2.1. Conceptualización.....	31
2.1.1. Clasificación de la fotogrametría.....	31
2.2. Manejo de mapas.....	32
2.2.1. Estereocorrelacion automática.....	32
2.3. Imagen fotográfica y sus productos.....	33
2.3.1. Fotografía aérea.....	34
2.3.2. Fotomoisacos.....	35
2.3.3. Ortofotos.....	36
2.3.4. Mapa topográfico convencional.....	37
2.3.5. Mapa digital.....	39
2.4. Proceso de construcción de cartografía digital.....	39
2.5. Escalas.....	41
2.5.1. Clasificación de las escalas por sus planos de comparación.....	41
2.5.1.1. Escala absoluta.....	41
2.5.1.2. Escala media.....	42
2.5.1.3. Escala relativa.....	42
2.5.2. Clasificación de las escalas por su precisión.....	43
2.5.2.1. Escalas grandes o de detalle.....	44
2.5.2.2. Escalas medias o de proyecto.....	45
2.5.2.3. Escalas chicas o informativas.....	45
2.5.2.4. Representación grafica.....	45
2.6. Mosaicos fotográficos.....	46

Índice General

2.7. Aplicación de la fotogrametría y cartografía al área de trabajo.....	48
2.8. Visión estereoscópica.....	51
2.8.1. Estereoscopio.....	51
2.8.2. Reconocimiento aéreo.....	52
2.8.3. Cámaras aerofotográficas.....	53
2.8.4. Tipos de fotografías aéreas.....	54
2.8.4.1. Aerofotos verticales.....	55
2.8.4.1.1. Escala de un aerofoto vertical.....	56
2.8.4.1.2. Desplazamiento por relieve (tendido radial) en una aerofoto vertical.....	56
2.8.4.1.3. Altura de vuelo para una foto vertical.....	57
2.8.5. Paralelaje estereoscópico.....	57
2.8.6. Mediciones estereoscópicas de las imágenes.....	57
2.9. Fotointerpretación.....	58
2.9.1. Características de la imagen fotográfica.....	60
2.9.2. Elementos para el análisis de fotografías.....	61
2.9.2.1. Tamaño.....	61
2.9.2.2. Forma.....	62
2.9.2.3. Tono y color.....	62
2.9.2.4. Textura.....	63
2.9.2.5. Patrón.....	64
2.9.3. Preparación de las fotografías para su interpretación.....	65

CAPÍTULO III. FOTOGRAMETRÍA DIGITAL.....	67
3.1. Interrelación de la fotogrametría digital con otras disciplinas.....	69
3.1.1. Percepción remota.....	72
3.1.2. Sistemas de información geográfica.....	73
3.1.3. Sistemas de posicionamiento global.....	74
3.2. Estaciones fotogramétricas digitales.....	76
3.2.1. Productos que se obtienen con una estación fotogramétrica digital.....	78
3.3. Fotogrametría arquitectónica.....	78
3.3.1. Método estereoscópico.....	79
3.3.2. Método por intersección directa.....	80
3.4. Nuevas tecnologías en la fotogrametría arquitectónica.....	81
3.4.1. Características y ventajas de la restitución digital.....	83
3.5. Metodología de trabajo.....	84
3.5.1. Trabajo de campo: planificación del trabajo y toma de fotografías... ..	84
3.5.1.1. Planificación de la toma de fotografías.....	84
3.5.1.2. Normas básicas de la toma de fotografías.....	85
3.5.2. Proceso de restitución.....	87
3.5.2.1. Programación del trabajo.....	87
3.5.2.1.1. Sistema de medida 3D.....	88
3.5.2.2. Calibración de la cámara.....	88
3.5.2.3. Orientación de las fotografías.....	89
3.5.2.4. Restitución de la geometría.....	90

Índice General

CAPÍTULO IV. RIESGO GEOLÓGICO.....	92
4.1. Los accidentes naturales desde el punto de vista socioeconómico.....	93
4.2. Conceptos y fundamentos básicos.....	94
4.2.1. Concepto de Riesgos Geológicos.....	97
4.2.2. Fundamentos básicos.....	99
4.3. Prevención de accidentes geológicos.....	100
CAPÍTULO V. DESLIZAMIENTOS.....	102
5.1. Falla Geológica.....	104
5.1.1. Fallas con desplazamiento vertical.....	104
5.1.1.1. Antitética – Homotética.....	106
5.1.2. Indicadores directos de fallas.....	106
5.1.2.1. Desplazamiento.....	107
5.1.2.2. Estrías.....	107
5.1.2.3. Diaclasas plumosas de cizalle.....	108
5.1.2.4. Arrastres.....	109
5.2. Conceptualizaciones básicas y clasificaciones.....	109
5.3. Dinámica y condicionantes.....	113
5.4. Análisis regionales y preventivos: cartas de susceptibilidad a deslizamientos.....	114
5.5. Obras utilizadas en la estabilización de laderas y taludes.....	115

Índice General

CONCLUSIÓN.....	xv
BIBLIOGRAFÍA.....	xxvii
INDICE DE FIGURAS.....	xx
INDICE DE TABLAS.....	xxii

Introducción

Las razones fundamentales que me motivaron a realizar esta investigación de tesis, son principalmente, el proporcionar datos veraces que puedan en un momento dado servir de apoyo para poder mitigar el riesgo geológico que sufre el municipio y poder así evitar daños o pérdidas humanas y materiales. Ya que actualmente este tipo de eventos se presentan con mayor frecuencia y con un mayor grado de riesgo, es preciso saber más del tema al respecto.

Teniendo presente que, para que una amenaza natural se convierta en un riesgo se requiere la presencia de seres humanos; las construcciones en que habitan y las condiciones generales del espacio que ocupan presentan un mayor o menor grado de vulnerabilidad que aunada a las características de la amenaza natural, determina el daño o pérdida que puede experimentar la población.

En el primer capítulo se hace una descripción de las características geográficas de Hidalgo y en especial del poblado de Metztitlan que es el área de estudio donde se presenta el deslizamiento.

En el segundo capítulo se menciona la fotogrametría como ciencia en la cual me apoye para poder identificar el riesgo geológico; así como el manejo de mapas, imágenes fotográficas y sus elementos para poder analizarlas, del proceso de construcción de la cartografía, el tipo de escalas existentes, la visión estereoscópica, la fotointerpretación. Y de la aplicación de la fotogrametría y cartografía al área de estudio.

El tercer capítulo se hace mención de la fotogrametría digital actual; así como de su interrelación con otras disciplinas, de la percepción remota, del Sistema de Información Geográfica (SIG), del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), de las nuevas tecnologías empleadas en la fotogrametría, las características y ventajas de la restitución digital. También se describe la metodología de trabajo

Introducción

para el levantamiento de planos de objetos arquitectónicos a través de la fotogrametría.

En el capítulo cuarto se menciona el riesgo geológico que es el tema principal de la tesis; conceptos y fundamentos básicos para poder identificarlo, clasificación de los mismos, así como la prevención de accidentes geológicos.

En el quinto capítulo se describen los deslizamientos como un riesgo geológico; las fallas geológicas e indicadores directos de tales, conceptualizaciones básicas y clasificaciones, de su dinámica y condicionantes, de los análisis regionales y preventivos: carta de susceptibilidad. También se mencionan las obras utilizadas en la estabilización de laderas y taludes.

Por último se citan las conclusiones; en las cuales se hace una importante mención a la fotogrametría como ciencia desarrollada para obtener medidas reales a partir de fotografías, tanto terrestres como aéreas, para poder realizar y detectar riesgos geológicos. Todo esto resulta una gran herramienta de ayuda, para facilitar en gran medida el campo de la ingeniería civil. Por otra parte se proponen algunas alternativas para poder mitigar el riesgo geológico que se presenta en forma de desplazamiento en el municipio de Metztitlan.

Es importante poder conocer el tema de riesgo geológico, debido a la gran concurrencia que ha tenido en los últimos años este tipo de sucesos, ya sea a la dinámica interna del planeta o a los procesos que se producen en la superficie de esta. Y poder hacer conciencia en el cuidado del planeta, ya que debido a los cambios ocasionados por la contaminación en general, se han suscitado la gran mayoría de estos accidentes.

Dentro de la rama de la ingeniería civil es de suma importancia el tener conocimiento de los riesgos geológicos y sus factores que los provocan. Ya que si

Introducción

podemos identificar con precisión los factores responsables del suceso, es fundamental para la adopción de las medidas correctivas o preventivas más acertadas desde el punto de vista técnico-económico. En muchos casos, la causa principal del riesgo no puede ser removida, siendo, por eso, necesario reducir sus efectos de una forma continua o intermitentemente, teniendo de prioridad la integridad física de los seres humanos.

Finalmente, es de tenerse en cuenta, que debido a los malos gobernantes y autoridades que han existido en México, han salido a la luz pública una serie de anomalías en cuestión de protección civil que han cobrado con muchas vidas humanas inocentes. Y es cuestión de nosotros como ingenieros no contribuir a ese tipo de fallas que puedan traer consecuencias fatales. Es por ello hacer una buena planificación en materia de urbanización.

Marco Referencial

Ubicada en la porción central del país, se encuentra Hidalgo, entre los estados de México, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, San Luis Potosí y Querétaro de la República Mexicana. Es tierra de profundos contrastes a lo largo y ancho de su territorio, surcada en su parte media por la Sierra Madre Oriental que la recorre longitudinalmente, dando paso a las 10 grandes regiones naturales que la conforman geográficamente. En julio de 2007, tenía una población de 2, 345,514 habitantes.

En el estado, se vive en profundo contacto con la naturaleza, se disfruta de un buen clima templado con variantes que van desde el húmedo en la zona de la Huasteca y parte de la sierra hasta el seco que predomina en la región de los valles y algunos puntos serranos; de hermosos paisajes principalmente los turísticos que gracias a la cercanía con la ciudad de México son aprovechados de manera intensa.

Dentro del estado se encuentra Metztitlan, que es el municipio más grande territorialmente hablando, con 814.7 kilómetros cuadrados, lo cual representa el 3.9%, de la superficie estatal y con una población de 20,599 habitantes. Ubicado en su totalidad en la Sierra Madre Oriental, lo cual genera un estado de permanente riesgo geológico.

El acceso al Municipio de Metztitlán, es por la carretera federal número 105, desviándose en el kilómetro 60 y en el Puente de Venados, a 84 kilómetros de la ciudad de Pachuca. Se ubica geográficamente entre los paralelos 20° 36´ de latitud norte y 98° 46´ longitud oeste, a una altitud de 1,320 metros sobre el nivel del mar.

Los accidentes causados por fenómenos geológicos tales como terremotos, erupciones volcánicas y deslizamientos, ocurren desde épocas remotas, provocando pérdidas de vidas humanas y perjuicios materiales. A pesar de los

Marco Referencial

avances en el conocimiento técnico y científico de los procesos geológicos, muchas comunidades, principalmente en las zonas urbanas, son vulnerables a situaciones de desastre. Sin embargo, actualmente existen condiciones técnicas para aumentar la seguridad de las personas y de obras civiles que se encuentran en áreas y situaciones de riesgo geológico, considerando, la previsibilidad espacial y temporal de ocurrencia de los fenómenos y la posibilidad de prevenirse contra sus efectos.

Dado que el municipio de Metztitlan, se encuentra ante la amenaza de un riesgo geológico latente y que, por consiguiente, podrían constituir un alto riesgo para las personas y la infraestructura. Es necesario afrontar tanto la predicción de los riesgos naturales (estudios de probabilidad de ocurrencia e intensidad, cartografía de riesgos, sistemas de detección temprana) como la mitigación de los desastres naturales que finalmente ocurren (sistemas de alerta, evacuación, salvamento, etc.). Estas tareas, en nuestro país, corresponde gestionarlas fundamentalmente a los organismos estatales y autonómicos, si bien protección civil suele depender de las administraciones locales.

Una vez que un proceso ha sido identificado como riesgoso, la información generada debe ser rápidamente entregada a los planificadores y a las instancias de toma de decisión de manera tal de poder evaluar y minimizar los impactos o evitarlos. En particular, es de fundamental importancia el establecimiento de sistemas de alarma temprana y planes de contingencia.

El siguiente estudio se enfoca a la solución práctica, para poder mitigar el riesgo geológico provocado por una falla normal activa y que se presenta en forma de desplazamiento.

Dado que el deslizamiento de suelo se presenta de manera lenta y continua, y que se desplaza a velocidades promedio de unos cuantos milímetros a unos

Marco Referencial

cuantos centímetros por año. Y que es solo perceptible con instrumentos tales como estaciones GPS y trabajos fotogramétricos, después de varios años de observaciones, dicho desplazamiento tiene un impacto en lo social y en lo económico de los habitantes y del poblado, así como de la región.

Actualmente, la investigación de deslizamientos en sentido amplio está relacionada con varias áreas del conocimiento, tales como: Ingeniería Civil, Geología, Ingeniería Geológica, Geomorfología, Geotecnia, Mecánica de Suelos y de Rocas, etc.

Bajo el aspecto de la aplicación, la importancia del análisis y control de los deslizamientos resulta de la demanda socioeconómica proveniente de accidentes y problemas diversos concernientes a la inestabilidad de las laderas. Se estima en millares de muertes y decenas de miles de millones de pesos por año los perjuicios provenientes de la deflagración de estos procesos en el mundo entero.

En México, a pesar de no disponerse de datos exactos, se sabe que accidentes resultantes de deslizamientos han sucedido en varias ciudades, muchas veces, con más de una decena de víctimas fatales, más allá de los daños económicos de varias magnitudes asociados a inestabilidad de taludes en obras civiles lineales (carreteras, vías férreas, etc.) y áreas de minería. Datos colectados por el Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT) estiman que de 1988 al 2010 morirán aproximadamente 1300 personas en accidentes por deslizamientos.

Se puede afirmar que los deslizamientos constituyen importantes procesos de la dinámica superficial del territorio mexicano. Este cuadro es el resultado de sus características geológicas, geomorfológicas y climáticas, aumentadas con algunos procesos socioeconómicos que ocurren en el país, como la intensa urbanización (85% de la población en áreas urbanas - INEGI, 1992), y al empobrecimiento general de la población.

Marco Referencial

Estos factores contribuyen a la instauración de situaciones de riesgo en las ciudades, a partir de la ocupación de áreas naturalmente susceptibles a deslizamientos sin los criterios técnicos mínimos recomendados. Este diagnóstico se repite para otros países en desarrollo y presenta una gran demanda relacionada al desarrollo de técnicas de análisis y control de los deslizamientos permitiendo salvaguardar vidas humanas y su patrimonio.

Desde los primeros años de la década de los noventa todo Metztlán ha sufrido el deslizamiento de los taludes de la montaña en la que se ubica. Parte de la población tuvo que ser reubicada porque se presentaron en la superficie del terreno grietas de hasta un metro de ancho y diez de profundidad que amenazaban su seguridad.

CAPITULO I

CARACTERÍSTICAS

GEOGRÁFICAS

DEL ÁREA DE

METZTITLAN

1.1. Estado de Hidalgo

1.1.1. Ubicación

Ubicada en la porción central del país, entre los estados de México, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, San Luis Potosí y Querétaro (ver Figura No. 1), la entidad hidalguense, es tierra de profundos contrastes a lo largo y ancho de sus 20,813 Kilómetros cuadrados, surcados en su parte media por la Sierra Madre Oriental, que recorre longitudinalmente todo su territorio, dando paso a las 10 grandes regiones naturales que la conforman geográficamente¹.

La primera se extiende en las últimas estivaciones serranas rumbo al Golfo de México y se denomina "Huasteca" región que se prolonga por los estados de Veracruz y San Luis Potosí, parte de Querétaro y Puebla y llega hasta Tamaulipas. La segunda se constituye a lo largo de la Sierra que conforma a su vez cuatro regiones: la que se ubica en los límites con Querétaro y se denomina "Sierra Gorda" que continua en dos vertientes hacia la zona central del estado, una prolonga el sesgo de la gran masa montañosa y se llama "Sierra Alta" la otra se desprende hacia la Meseta Central y se conoce como "Sierra Baja"; el último brazo de la sierra penetra en los límites con Puebla y Veracruz y lleva el nombre de "Sierra Tepehua o de Tenango". Finalmente se encuentran los territorios de la región occidental, donde se ubican "El Valle del Mezquital", "El Valle de la Teotlalpan", "Los Llanos de Apan" y "El Valle de Tulancingo".

En general el clima de la entidad es templado con variantes que van desde el húmedo en la zona de la Huasteca y parte de la sierra hasta el seco que predomina en la región de los valles y algunos puntos serranos.

¹ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: (a) INEGI. Marco Geoestadístico, 2000. (b) INEGI-DGG. Superficie de la República Mexicana por Estados. 1999. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [En red]. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>

Tres son los sistemas hidrográficos que existen en Hidalgo, todos tributarios del Golfo de México; el primero es el Amajac, que nace en Sierra baja y se precipita sobre Omitlán, donde recibe diversos afluentes, sigue bordeando los municipios de Actopan y Atotonilco el Grande, donde se le une el río Tizahuapan y más adelante sirve de límite a los municipios de Metztlán e Itzmiquilpan y continua por el rumbo de Chalpuhuacán y Tepehucán de Guerrero para salir por el estado de Veracruz.

El otro sistema es el del Río Metztlán que nace con el nombre de Tulancingo y recoge en primer término las aguas de algunos afluentes conectados con las lagunas de Apan, Atocha y Tecocomulco, cruza por Acatlán. Huasca y Atotonilco el Grande hasta llegar a la imponente barranca de Metztlán, donde humedece las tierras de la fértil vega de ese nombre y vierte sus aguas en la laguna Metzca, de donde sale para unirse con el Amajac a la altura del municipio de Tlahuiltepa.

El tercer sistema hidrográfico está constituido por el Río Moctezuma, originado al Noroeste de la ciudad de México, que penetra al estado por el municipio de Tepeji de Ocampo, donde recibe el nombre de Río Tula. A lo largo de este recorrido recoge las aguas de varios afluentes, hasta llegar a los límites con el estado de Querétaro, donde se le une el gran caudal del Río San Juan y las aguas del Tecozautla, en este sitio cambia su nombre por el de Río Moctezuma. Al margen de estos sistemas existen otras corrientes de agua autónomas, como las de los ríos Candelaria, Garcés, Atlapexco, Hule, Tlacolula y Yahualica, que nacen en la sierra Alta y riegan los terrenos de la Huasteca Hidalguense. Dos más, recorren la Sierra Tepehua y son el Chiflón y el Huehuetla.²

² Tejeda, G.C. (1978). Estudio Geológico de Reconocimiento en la Parte Central y Sur del Estado de Hidalgo. Tesis Profesional ESIA-IPN.



Figura No. 1.- Ubicación geográfica del Estado de Hidalgo.

1.1.2. Creación del Estado de Hidalgo

Cuando el Emperador Maximiliano I tomó posesión de la corona de México, el presidente Benito Juárez tuvo que trasladar la capital de la república a diferentes regiones. Para ese propósito dividió el territorio original del estado de México en tres distritos militares: el actual estado de México y los territorios que ahora comprenden el estado de Hidalgo y Morelos. Después del triunfo de los republicanos se vio conveniente separar los distritos militares y formarlos en estados independientes, para restar poder al gran estado de México, así el 16 de enero de 1869 se da la creación del estado de Hidalgo, nombre que rinde honor al sacerdote insurgente Miguel Hidalgo y Costilla.

La creación del estado de Hidalgo, se debió al igual que la del estado de Morelos, a una estrategia del gobierno federal de Benito Juárez, se pretendía debilitar al entonces muy poderoso estado de México, pues representaba una amenaza para los planes de la aún tierna república federal, debemos recordar que el territorio mexiquense a principios de la vida independiente lo conformaban los actuales estados de Hidalgo, México, Morelos, Guerrero y el Distrito Federal. Se inventaron pretextos para justificar la mutilación, entre ellos la lejanía de algunas regiones con la capital estatal, pasando por alto la cuestión identitaria.

En el decreto oficial se lee lo siguiente:

"Benito Juárez, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes sabed: que el Congreso de la Unión ha tenido a bien expedir el decreto siguiente: Artículo Único. Queda definitivamente erigido en nuevo Estado de la Federación con el nombre de Hidalgo, la porción de territorio del antiguo estado de México, comprendida en los distritos de Actopan, Apan, Huascazaloya, Huejutla, Huichapan, Pachuca, Tulancingula, Ixmiquilpan, Zacualtipán y Zimapán que formaron el segundo distrito militar creado por el decreto del 7 de junio de 1862".³

Desde entonces se formó el estado de Hidalgo, en un principio se consideró a la ciudad de Tulancingo como posible sede de la capital, debido a ser el centro textil más importante del país, pero finalmente se decidió que la ciudad de Pachuca fuera la capital estatal por su cercanía a la capital del país.

³ *Monografía del Estado de Hidalgo, Instituto Hidalguense de la Cultura, tomo I, edición 1993.*

1.1.3. Desarrollo histórico

Durante los primeros años de su vida como entidad soberana (1869-1910), la economía de sus habitantes continuó sustentantandose en la agricultura, donde debe destacarse la gran producción pulquera de los llanos, abastecedora tanto del mercado interno como el de las entidades circunvecinas y desde luego de la capital de la República, a ello se debió la importante red ferroviaria tendida en la zona del altiplano, región donde se encontraban las grandes haciendas productoras de pulque.

Por su parte la minería continuó desempeñando importante papel en la economía hidalguense, sobre todo en la comarca Pachuca-Real del Monte donde durante los primeros se destacan las actividades de empresas mexicanas, inglesas y francesas abarcando un amplio periodo entre 1850 y 1904. Posteriormente fueron inversionistas norteamericanos quienes intensificaron la explotación hasta 1947. El otro polo de producción minera fue la comarca de Zimapan, al que se aunaran a mediados del siglo XX, las explotaciones de caolines en la Sierra Tepehua y de manganeso en Molango.

También se logran importantes desarrollos en materia textil en Tulancingo, sobre todo en la primera mitad del siglo XX y casi a la par en la región de Tepeji del Río. Por otro lado en 1954, da inicio la construcción de Ciudad Sahagún, enclave de la industria metal-mecánica, establecida como alternativa a los habitantes de la región de los llanos, depauperados a raíz de la decadencia de la producción pulquera.

Al lado de estas actividades, la agricultura continuará desempeñando importante papel en la economía de la entidad, la paulatina expansión de este sistema ha logrado incorporar en los últimos años a regiones significadas por la pobreza y la marginación.

1.1.4. Origen

Los estudios arqueológicos remontan la presencia humana en el actual territorio hidalguense a unos siete u ocho mil años antes del presente, a partir de entonces, esta región se convirtió en obligado paso de tribus y pueblos nómadas que deambulaban en busca de su asentamiento definitivo, no obstante muchos grupos se establecieron en estas tierras y lograron un gran desarrollo.

Los primeros en fundar colonias en estos territorios, fueron grupos Olmecas, que aprovecharon los bancos de jade y serpentina, así como diferentes variedades de basalto y obsidiana, entre estas últimas la de color verde, sumamente rara, ya que sólo se encuentra en la región de Pachuca. Después, son los Teotihuacanos quienes dejan huella de su paso en lugares como Tepeapulco y Huapalcalco (muy cerca de Tulancingo), el primero escogido como atalaya estratégica, para vigilar las fronteras de su gran metrópoli y el segundo como centro de acopio de materias primas para abastecer sus talleres de obsidiana. Vinieron después los Otomíes, de origen aun desconocido. Quienes se asientan en el desértico Valle del Mezquital, aunque algunos emigraran más tarde a la Sierra Tepehua en busca de lugares más benignos. Continúan los Huasteca o Cuexteca, establecidos, en la fértil zona que aún lleva su nombre y casi a la par, los Tolteca, que guiados por Ce Acatl Topiltizín Quetzalcoatl, después de un largo recorrido, fundan en la vieja población otomí llamada Mahmení, la Tula Xicocotitlan, centro de una de las más grandes civilizaciones de Mesoamérica, irradiadora de la Toltecayotl (Toltequidad) que es la acumulación de su gran desarrollo social, político, religioso y económico cuya influencia se hizo sentir hasta Yucatán. Finalmente serán los Mexica, quienes cruzan y se asientan temporalmente en estas regiones durante su peregrinaje para encontrar el lugar donde habrían de fundar el centro de su cultura. Su estancia se prolonga durante cuarenta años, en los que tocan lugares como Tula, Atitatalaquia, Tlemaco y finalmente, Atotonilco (de Tula).

1.1.5. Economía

El estado de Hidalgo, a pesar de depender en gran medida de aportes de la Federación, también cuenta con una importante industria por su localización cercana al Distrito Federal. Es sede de las Cementeras Cruz Azul, Tolteca y Holcim Apasco; y las mineras Real del Monte y Pachuca (propiedad de Grupo Peñoles), Minera Autlan y Compañía Minera San Miguel. También de las compañías lecheras Alpura, Real de Tizayuca y Santa Clara; de Totis, Devlyn, las textil Grypho, Toallas San Marcos y Cobertores San Luis. Además cuenta con cierta industria pesada, representada, principalmente por Bombardier, Komatsu, American Motor Coach Industries y Dina. El sector ganadero es bastante importante, sobre todo en el ganado vacuno y ovino, aunque la producción avícola y apícola también representa un fuerte ingreso. También existen diversas piscifactorías donde se crían principalmente truchas y carpas.⁴

En la agricultura el cultivo de cereales (maíz, cebada, trigo, etc.) es el principal, si bien también se cultiva el chile, tomate, aguacate y en zonas de la sierra, el plátano y el café. En cuanto a los frutales el principal es la manzana y el durazno. La zona de agricultura más extensa es la bañada por el río Tula.

El sector más importante del estado es el de servicios, por la amplia presencia del ámbito comercial y el turismo.

1.1.6. Turismo

El estado de Hidalgo tiene recursos forestales, minerales y turísticos muy importantes que gracias a la cercanía con la ciudad de México son aprovechados de manera intensa.

⁴Anuario Estadístico Hidalgo Edición (2000) [Gobierno del Estado de Hidalgo (Secretaría de Desarrollo Social) – INEGI].

Tiene diferentes corredores turísticos: como el de los balnearios de aguas termales en el valle del Mezquital y municipios vecinos (Ixmiquilpan, Ajacuba, Tecozautla).

También cuenta con zonas arqueológicas, destacando las pirámides de Tula, capital de la legendaria cultura Tolteca, la zona arqueológica de Xihuingo, en el municipio de Tepeapulco, y una cercana a Tulancingo.

El corredor turístico de la montaña incluye la región cercana a la ciudad de Pachuca, y al norte de la misma: el Bosque de El Chico (primer parque nacional) es otro de los atractivos más frecuentados del estado, este se ubica pocos kilómetros al norte de la ciudad de Pachuca, los Prismas Basálticos de San Miguel Regla, los pueblos mágicos de Mineral del Monte y Huasca de Ocampo y el área natural protegida de la Barranca de Metztlán.

En otras regiones de la sierra están la Barranca de Tolantongo, el parque nacional los Mármoles, la barranca del río Moctezuma, las barrancas de los ríos Claro y Amajac.

Existen numerosas haciendas que destacan por su belleza, como las de Santa María Regla, San Miguel Regla. Asimismo son notables los conventos de los Santos Reyes en Metztlán, San Nicolás Tolentino en Actopan. Cerca de Zempoala se encuentran los Arcos de Zempoala, también conocidos como Arcos del Padre Tembleque.

1.1.7. Población

El estado de Hidalgo está dividido en 84 municipios (ver figura No. 2) y su capital es la ciudad de Pachuca de Soto, sede de los poderes ejecutivo y legislativo estatal.

Según el último censo disponible (INEGI, 2005) el estado tiene una población total de 2, 345,514 habitantes y cerca 320,029 hablan una lengua indígena, en su mayoría náhuatl (217,853 hablantes), otomí (95,057 hablantes) y tepehua (1,583 hablantes). Aunque también existe la presencia de lenguas zapotecas y mixtecas, así como de teneek en algunas zonas de la Huasteca y totonaca en los límites con el estado de Veracruz.

Las ciudades consideradas como más importantes del estado son: Pachuca de Soto, Tulancingo, Tula de Allende, Tizayuca, Tepeji del Río, Actopan, Apan, Huejutla de Reyes, Cd. Sahagún e Ixmiquilpan.

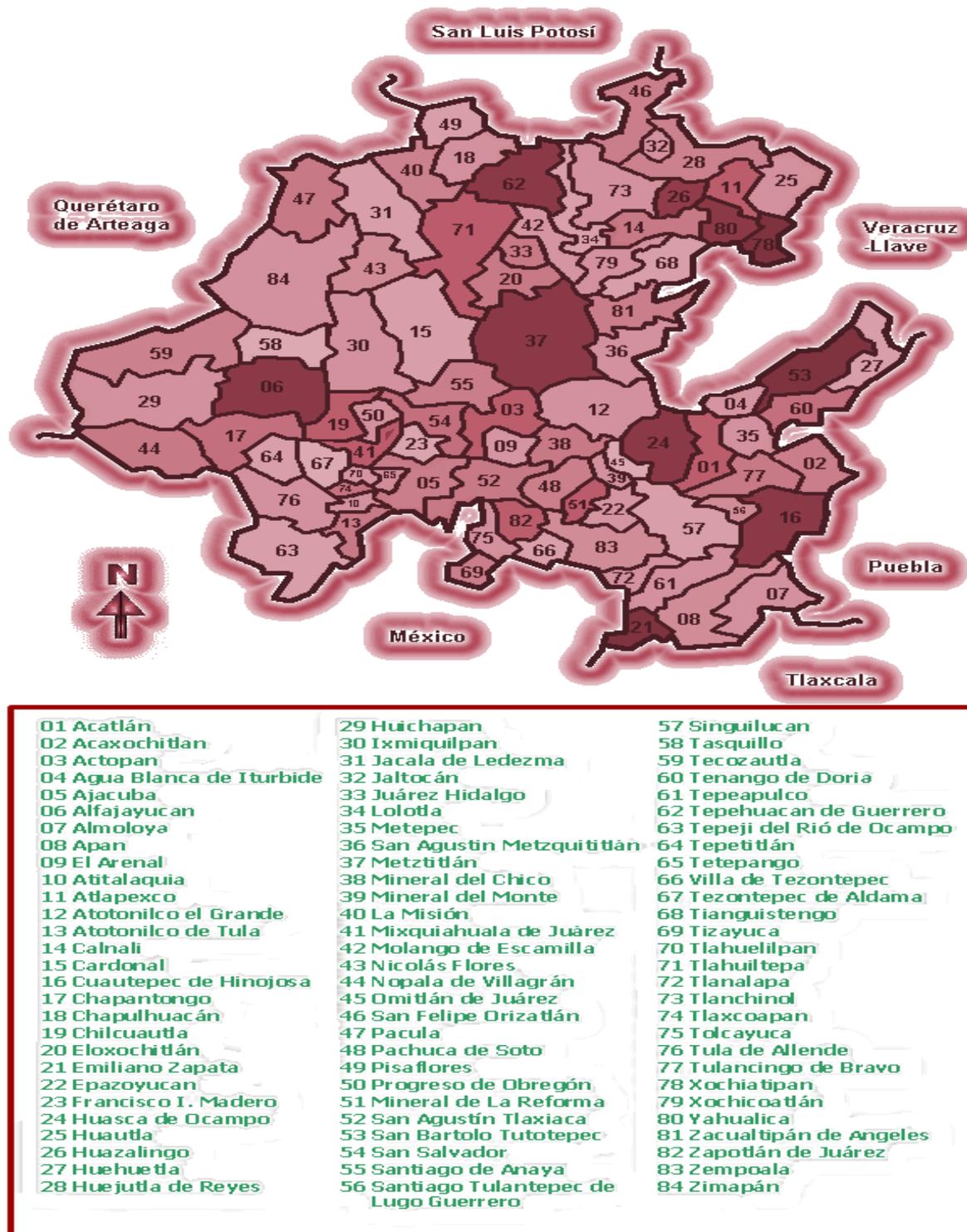


Figura No. 2.- División política (municipios) de Hidalgo.

1.1.8. Educación

El estado de Hidalgo cuenta con numerosas instituciones de educación superior, entre las cuales se encuentra la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, escuela de estudios profesionales de carácter público. El estado también tuvo como habitantes a los aztecas y a los otomíes; a estos últimos todavía podemos encontrarlos en la Sierra Madre oriental. No obstante, a diferencia de muchas entidades del país, estas comunidades no tienen acceso a la educación, debido a sus condiciones de pobreza extrema.

1.1.9. Deporte

El deporte más importante es el fútbol, siendo cuna de este deporte en México, al haber sido traído al estado por los mineros ingleses. El principal equipo del estado es el Club de Fútbol Pachuca, fundado en 1901 como Pachuca Athletic Club, pero también se fundó en este estado el Club Deportivo Cruz Azul, otro equipo de mucha importancia a nivel nacional, fundado en Jasso, cerca de Tula.

Se practica también el béisbol y el basquetbol, ambos cuentan con ligas a nivel amateur bastante importantes. En los últimos años el Judo, Tae-Kwon-Do, Karate-Do, Ciclismo, Box y Atletismo han conseguido mucha relevancia, llevando a participantes del estado a Juegos Nacionales o Panamericanos e incluso, Olímpicos.

1.2. Metztitlan

Nomenclatura

Metztitlán proviene del náhuatl metztli=luna, -titlan= lugar entre..., que se traduce como Lugar entre la Luna. Es el municipio más grande territorialmente dentro del Estado de Hidalgo. (Ver Figura No. 3)

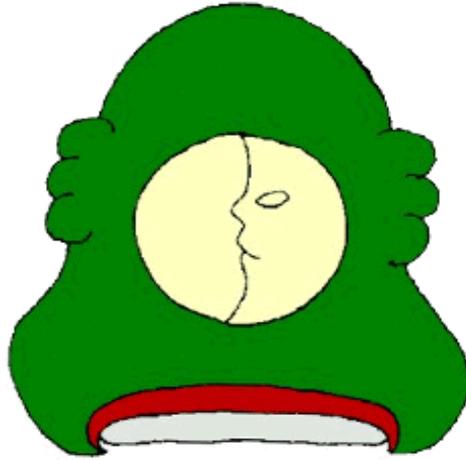


Figura No. 3.- Glifo municipio de Metztitlan.

1.2.1. Historia

1.2.1.1. Reseña histórica

Desde muy remota antigüedad la zona estuvo habitada por diversas etnias primitivas de cazadores, entre los que se cuentan los otomíes, que a medida que llegaban nuevas tribus más belicosas se iban remontando a las partes más áridas y montañosas, donde conservaron su lengua y sus costumbres casi sin cambio durante siglos. Los historiadores difieren sobre el origen étnico cultural donde los propiamente llamados Metzcos, precisando algunos, que comparten la identidad de Tepehuas, o Totonacas del monte con los Totopecas, con quienes formaron una sola nación que se extendía al valle de Tlaxcala, con influencias de los Olmecas, a través de los totonacas de golfo, que habían extendido su influencia hasta el altiplano central. Lo comprobable es que los Metzcos convivieron con los otomíes, pero nunca se mezclaron con ellos, representando así el elemento rural y los Metzcos el civilizador.

Consumada la toma de Tenochtitlán (13 de agosto de 1521), los señores “amigos y aliados” de Metztitlán y Tototepec se apresuraron a enviar representaciones

para reconocerse vasallos del monarca español. Se sabe que la lucha de independencia participaron en reuniones algunos religiosos Agustinos del convento mayor en la capital, partidarios de la independencia, pero los de Metztlán fueron opuestos a dicho movimiento. En el archivo parroquial, en el libro de circulares y cordilleras del arzobispado de México, se lee: “En 19 de octubre recibí la cordillera ejemplar de la pastoral de S. Santísima para la exhortación e instrucciones a los fieles sobre el primero y el ultimo mandamiento de la ley de Dios y que el odio de abominación de personas es siempre pecado mortal y que no se debe de adherir al sistema de hidalgo entre los gachupines y criollos y que a esta instrucción se ha de añadir la de los efectos de la excomunión mayor y la obligación de delatar a quien corresponde a los perturbadores del sosiego publico de fecha primero de octubre de 1810.”⁵

Metztlán fue reino independiente que entabló serias guerras contra el imperio azteca para mantener su autonomía. El 25 de abril de 1811, se insurreccionaron los indígenas metzcas, pero fueron derrotados.

En septiembre del mismo año nuevamente provocaron una insurrección a favor de la independencia habiendo sucumbido en acciones de armas más de 600 indígenas y fusilados 625 prisioneros.

1.2.2. Medio físico

1.2.2.1. Localización

El acceso al Municipio de Metztlán, es por la carretera federal número 105, desviándose en el kilómetro 60 y en el Puente de Venados, a 84 kilómetros de la ciudad de Pachuca. Se ubica geográficamente entre los paralelos 20° 36´ de

⁵ *Cuaderno de Información Básica Metztlán Estado de Hidalgo*. Dirección General de Planeación, edición 2000.

latitud norte y 98° 46´ longitud oeste, a una altitud de 1,320 metros sobre el nivel del mar.

Colinda al norte con los municipios de Molango, Eloxochitlán y Xochicoatlán; al sur con Actopan y Atotonilco el Grande; al este con Zacualtipan y Metztitlán; al oeste con el Cardonal y Tlahuiltepa. Los centros más poblados del Municipio son: Primero la cabecera municipal, le siguen nueve cabeceras de subsistemas, una localidad con servicios primarios y 70 localidades menores. Siendo sus principales comunidades: El pedregal, Zoquizoquipan, Fontezuelas el Pirúl, Ixtayatla, San Pablo Tetlapayac, la Paila, el Carrizal y San Cristóbal. (Ver Figura No. 4).

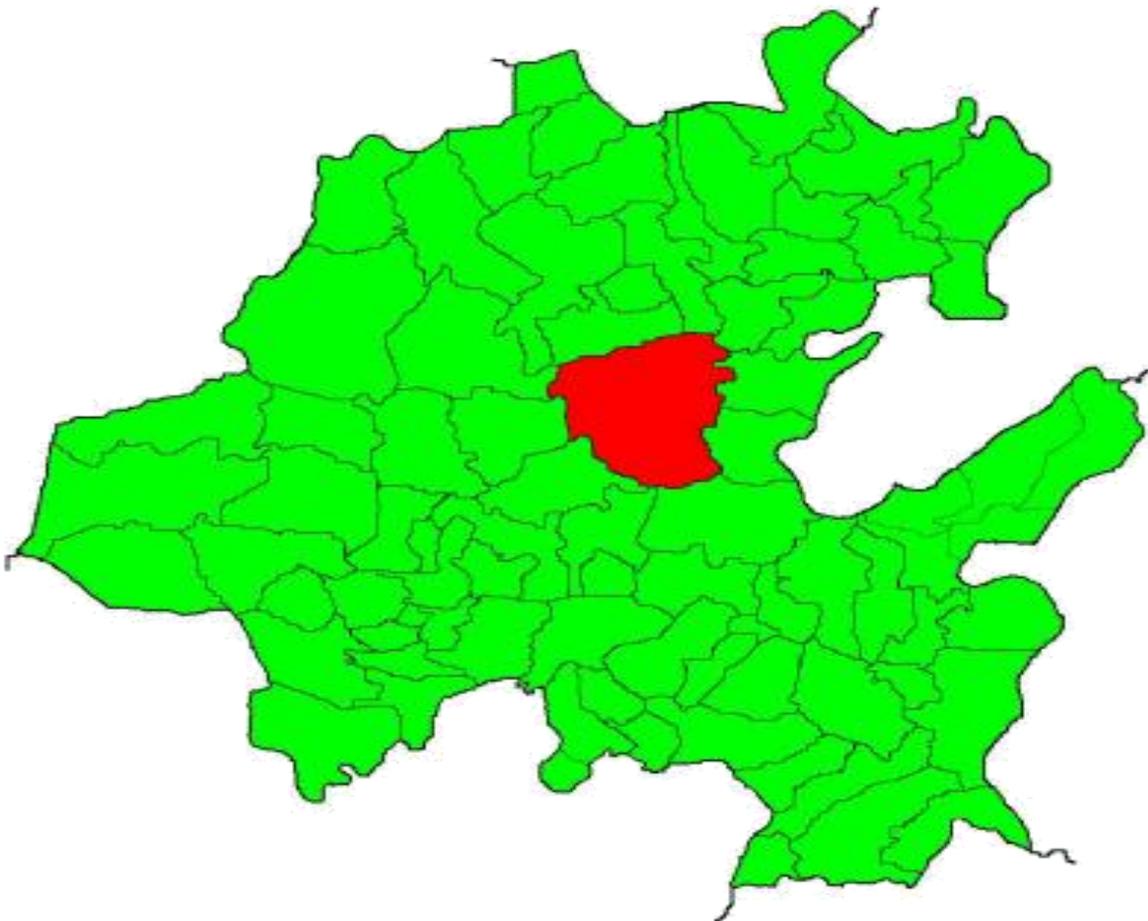


Figura No. 4.- Municipios colindantes.

1.2.2.2. Extensión

El municipio de Metztitlan cuenta con una extensión territorial de 814.7 kilómetros cuadrados, lo cual representa el 3.9%, de la superficie estatal.

1.2.2.3. Orografía

El Municipio se encuentra ubicado en su totalidad en la Sierra Madre Oriental, en su mayor parte formado por sierra y en menor proporción por cañones, lomeríos y mesetas; en una pequeña parte se localiza en el eje neo volcánico; formado por llanuras; el 60% está formado por pendientes mayores al 15%, como se puede apreciar en la siguiente Figura No. 5.

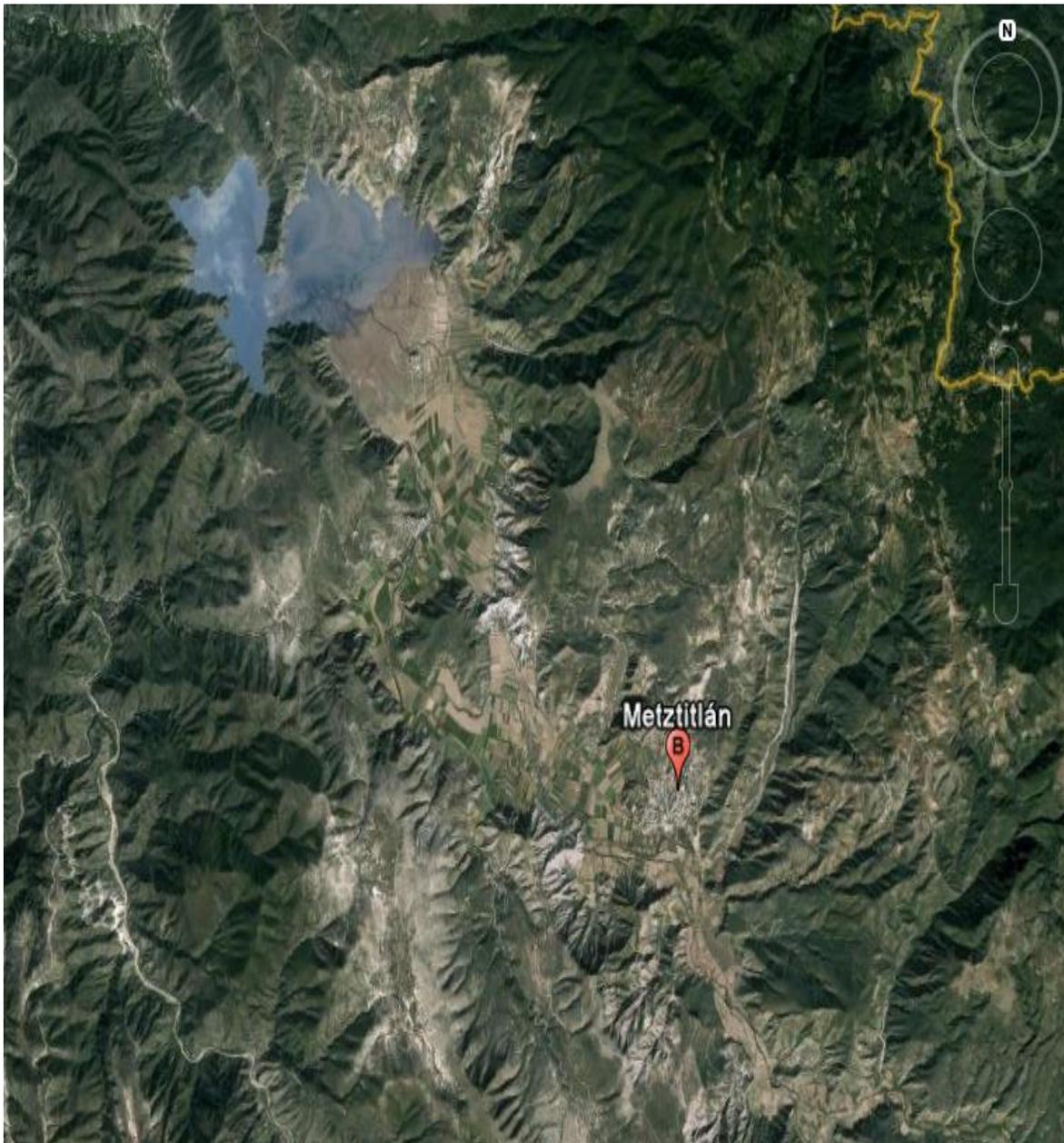


Figura No. 5.- Orografía de Metztlán.

1.2.2.4. Hidrografía

En lo que respecta a su hidrografía cuenta con el río Pánuco, la cuenca del río Moctezuma y el río Metztlán, que cruza el Municipio, desembocando en la laguna

de Metztitlán, la que se encuentra rodeada por montañas y altos arboles de nogal. (Ver Figura No. 6).



Figura No. 6.- Laguna de Metztitlan.

1.2.2.5. Clima

En este aspecto el Municipio tiene un clima templado-súbcálido, el cual registra una temperatura anual de 20.2°C., y una precipitación pluvial de 437 milímetros por año. El período de lluvias es de junio a septiembre.

1.2.3. Principales Ecosistemas

1.2.3.1. Flora

La flora que existe en el Municipio, por lo general es a base de sauce, álamo, nogal, retama, encino, pino, piñón y enebro. Sus laderas son jardines botánicos naturales con una rica colección de cactáceas.

Los botánicos han clasificado 2 variedades de agaves, 12 de yerbas y matorrales, cuatro especies de orquídeas y una de las más ricas colecciones de plantas desérticas que existen en el mundo; casi 60 especies de cactus (la colección mas rica del mundo), entre ellos se encuentran los famosos Viejitos de canoso pelambre que son exclusivos de esta región y los que se encuentran en peligro de extinción (Ver Figura No. 7).

En el centro estatal semiárido, se ubica una nueva área protegida, la reserva o santuario de cactáceas de Metztitlán, formada por un imponente Valle, cuya enorme riqueza natural consiste en herbáceas, cactus globosos y columna res, que reúnen a cientos de especies únicas. En las partes altas de la barranca, suelen haber bosquecillos de piñón y enebro.



Figura No. 7.- Cactus característicos del Valle de Metztitlan.

1.2.3.2. Fauna

En la fauna existen 93 especies de aves, algunas en peligro de extinción, 16 clases de mamíferos como el venado, gato montés, coyote, conejo, liebre, ratón de campo, ardillas, armadillo y tigrillo.

También se encuentran varios tipos de peces (sobre todo el bagre y la trucha de tierra caliente), así como garzas, gallaretas, patos y el curioso anchiquiliche.

1.2.3.3. Clasificación y uso del suelo

El suelo tiene características de origen mesozoico, es de tipo pardo rojizo y semidesértico, rico en materia orgánica y nutrientes.

El uso principal de su suelo es de agostadero y muy pequeño parte de uso agrícola. La tenencia de la tierra es ejidal.

1.2.4. Perfil sociodemográfico

1.2.4.1. Grupos étnicos

Al año 2000 de acuerdo al XII Censo General de Población y Vivienda del INEGI, el porcentaje de población de 5 años y más que habla lengua Indígena es del 12.2%, con respecto a la población total, las lenguas que más se practican son: Otomí y Náhuatl.

1.2.4.2. Evolución Demográfica

El Municipio de Metztitlán tiene una población de 20,599 de la cual 9,696 son hombres y 10,903 son mujeres, con un índice de masculinidad de 88.93.

1.2.4.3. Religión

Al año 2000 de acuerdo al XII Censo General de Población y Vivienda del INEGI, el porcentaje de población de 5 años y más que practica la religión católica es del 95%, y el 5% practica otras religiones presentes en la región.

1.2.5. Infraestructura social y de comunicaciones

1.2.5.1. Educación

En Municipio cuenta según datos estadísticos del INEGI del año 2000, con las siguientes instituciones de educación; 61 escuelas de educación preescolar, 67 escuelas de educación primaria, 17 escuelas de educación secundaria (ver figura No. 8) y 3 de nivel bachillerato.

Lo que significa que la cobertura educativa no es suficiente para cubrir satisfactoriamente las necesidades de la población principalmente en los niveles

medio y profesional por lo que es necesario crear más infraestructura educativa, fijando la atención prioritariamente en los niveles medios y superiores.

El municipio tiene un total de 6,160 alumnos inscritos en los diferentes niveles de educación.



Figura No. 8.- Escuela de Educación secundaria en el Valle de Metztitlan

1.2.5.2. Salud

En esta materia el Municipio de Metztitlán es atendido por un puesto periférico del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), cuenta con 9 Centros de Salud de la S.S.A.H. "B" y "C", consultorios rurales, 1 unidad medico-rural del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), además cuenta con 26 casas de salud en diferentes comunidades, las cuales prestan auxilio en esta materia; instalaciones medicas que permiten afirmar que está cubierto satisfactoriamente.

No obstante es necesario invertir recursos complementarios en las comunidades a efecto de atender en un 100% las demandas de la población.

1.2.5.3. Deporte

En todo el Municipio se practica el deporte y casi todas las comunidades cuentan con canchas deportivas de basquetbol, voleibol y fútbol.

1.2.5.4. Vivienda

En materia de vivienda existen 5,071 viviendas particulares las cuales son ocupadas por 20,571 personas, con un promedio de 4.06 ocupantes por vivienda.

1.2.5.5. Servicios Básicos

El Municipio cuenta con agua potable y alcantarillado, electrificación, parques y jardines, alumbrado público, auditorio, pavimentación y servicios de seguridad municipal.

Aunque el Municipio cuenta con estos servicios, existen comunidades alejadas de este y en donde es necesario que se instrumenten medidas a efecto de que se cuente con la infraestructura necesaria para erradicar la alta marginación que existe en el Municipio.

1.2.5.6. Vías de Comunicación

Metztlán está comunicado por carretera la carretera estatal, que conecta con la carretera federal México-Tampico; su sistema de ciudades está comunicado por la

carretera al 80 % de todas las localidades; las cabeceras de subsistema y localidades primarias al 90 %.

1.2.5.7. Medios de Comunicación

Metztitlan cuenta con servicios de comunicación tales como: el telefónico, de correos y telégrafos en la cabecera municipal.

1.2.6. Actividad económica (principales sectores, productos y servicios)

1.2.6.1. Agricultura

En el Municipio esta actividad se realiza en un 80 por ciento de las tareas de riego, sus cultivos principales son: maíz, con una superficie sembrada de 3,575 hectáreas, papa con 360 hectáreas, frijol con 1,750 hectáreas, calabaza con 510 hectáreas, chile verde con 301 hectáreas, tomate verde con 288 hectáreas, jitomate con 176 hectáreas y algunos cultivos perennes como el café cereza con 92 hectáreas.

Esta actividad es una de las fuentes principales de sustento y se lleva a cabo por gran parte de la población.

1.2.6.2. Ganadería

El inventario ganadero lo conforman las crías de bovinos de leche y carne con 2,183 cabezas, 3,537 cabezas de ovinos, 14,519 cabezas de caprinos y 6,200 cabezas de porcinos.

En lo que se refiere a la avicultura, se cuenta con la cría de aves de postura y engorda, con una población de 90,300, aves y además cuenta con 3,116 pavos.

En la apicultura, podemos decir que esta actividad se explota en baja escala, contando únicamente con 200 colmenas.

1.2.6.3. Pesca

En este aspecto existe la laguna de Metztitlán, en donde se lleva a cabo la práctica de la pesca deportiva, en donde se pueden encontrar varios tipos de peces como son el bagre y la trucha de tierra caliente.

1.2.6.4. Industria y Comercio

El Municipio cuenta con 14 tiendas DICONSA, las cuales se encuentran distribuidas en el municipio, tiendas rurales y campesinas, tianguis y rastro.

En lo que respecta a la industria, el Municipio cuenta con una maquiladora, en donde se lleva a cabo la confección de prendas de vestir y también se encuentra una empacadora de frutas.



Figura No. 9.- Valle de Metztitlan

1.2.6.5. Turismo

El Municipio tiene como atractivo cultural el ex-convento de los Santos Reyes construidos en el siglo XVI (Ver Figura No. 10) y su arquitectura vernácula rodeada de paisajes bellos de tipo desértico (ver Figura No. 9).



Figura No. 10.- Ex-convento de los Santos Reyes (siglo XVI)

Como atractivo natural se encuentra alejada del ruido de la civilización la laguna de Metztitlán, no muy lejos de la cabecera municipal, en donde se puede aprovechar el tiempo para relajarse y probar suerte con la caña de pescar, en la práctica de la pesca deportiva, pues en sus aguas habitan especies como el bagre y la carpa.

1.2.6.6. Población Económicamente Activa por Sector

De acuerdo con cifras al año 2000 presentadas por el INEGI, la población económicamente activa de 12 años y más del municipio asciende a 4,965 de las cuales 57 se encuentran desocupadas y 4,908 se encuentran ocupadas como se presenta en la siguiente tabla (ver Tabla No. 1):

Sector	PEA Ocupada	%
TOTAL MUNICIPAL	4,908	
PRIMARIO	2,408	49.1
SECUNDARIO	1,106	22.5
TERCIARIO	1,394	28.4

Tabla No. 1.- Poblacion economicamente activa

1.2.7. Atractivos culturales y turísticos

1.2.7.1. Monumentos Históricos

Arquitectónicos.- Se encuentra el ex convento de los Santos Reyes, construido por los agustinos en el siglo XVI (Figura No. 10), posee portada plateresca, su bóveda de cañón y sus claros son grandes arcos de medio punto. Es el más antiguo de los cuatro grandes conventos platerescos que edificaron los agustinos en la entidad. Otro monumento característico de la región es la cárcel la cual fue construida en el siglo XVI.

Históricos.- Se encuentra el monumento dedicado a los Niños Héroes, el cual esta ubicado en la escuela secundaria. También se encuentra una escultura llamada "la Pila Bautismal".

1.2.7.2. Fiestas, Danzas y Tradiciones

Fiestas Populares.- Del 3 al 7 de marzo se celebra en el Municipio la fiesta anual con feria popular.

El 15 de mayo se celebra el día de san Isidro labrador, patrono de los agricultores, se festeja con la salida de todos los tractores de los agricultores, desde la iglesia hasta la vega donde se festeja una misa en honor al Santo Patrono, al terminar la misa se hace una "comida", conviviendo todos los agricultores.

El 4 de julio se celebra el día de nuestra Sra. del Refugio, patrona del pueblo de Metztitlán. La fiesta comienza el día 3 de julio y termina el día 5 de julio, con feria popular y juegos pirotécnicos.

El 15 y 16 de septiembre se celebran las fiestas de la Independencia.

El 31, 1 y 2 de noviembre se celebra a todos los santos y fieles difuntos.

El 12 de diciembre se celebra el día de nuestra Sra. de Guadalupe, se festeja con feria popular y juegos pirotécnicos.

Tradiciones.- El carnaval lo celebran con cuadrillas de disfrazados y música, danzan por todo el pueblo, durante los días domingo, lunes, martes y antes de empezar la cuaresma.

Culmina el día martes con un concurso de disfraces otorgando premio al mejor, al terminar da comienzo la harina da, que consiste en echarse harina unos a otros.

El segundo viernes de cuaresma hacen presentaciones de la procesión y la judía; durante el Viernes Santo los fieles, vestidos con túnicas negras y encapuchados, desfilan en la noche por las calles portando imágenes e iluminados sólo por las velas; y representaciones de la procesión de las tres caídas y el santo entierro.

Leyendas.- Se cuenta que los primitivos acostumbraban atacar a sus enemigos por la noche aprovechando la luz de la luna, de ahí su nombre de Metztitlánecas, "Los de la Luna".

Gastronomía.- En el Municipio se hacen los tamales de hoja de maíz, carnitas de puerco, barbacoa de ternero o de borrego, el nacatamal que es un tamal gigante que se elabora con hojas de papatla, masa de maíz, mole o carne de puerco.

En dulces se elabora el jamoncillo, palanquetas de nuez y chocolate, pan de piloncillo o de azúcar, acitrones con frutas.

En bebidas se elaboran los vinos de mesa de frutas.

Trajes Típicos.- Los hombres usan calzón de manta, huaraches y sombrero de palma. Las mujeres usan vestido largo y huaraches.

Artesanías.- En el Municipio se cuenta con una gran variedad de artesanos los cuales elaboran sombreros, canastas, costureros, floreros de vara, telas bordadas, tejido de punto, utensilios de cocina, ollas, cántaros jarros, cazuelas y diversos objetos de cerámica.⁶

⁶ García Uribe, José. (1979). *Recorriendo el Estado de Hidalgo*. México: Autor.

CAPITULO II

FOTOGRAMETRÍA

2.1. Conceptualización

Ciencia desarrollada para obtener medidas reales a partir de fotografías, tanto terrestres como aéreas, para realizar mapas topográficos, mediciones y otras aplicaciones geográficas. Normalmente se utilizan fotografías tomadas por una cámara especial situada en un avión o en un satélite. Las distorsiones de las fotografías se corrigen utilizando un aparato denominado restituidor fotogramétrico. Este proyector crea una imagen tridimensional al combinar fotografías superpuestas del mismo terreno tomadas desde ángulos diferentes.

Los límites, las carreteras y otros elementos se trazan a partir de esta imagen para obtener una base sobre la cual se realizará el mapa, también es la base ideal para un levantamiento catastral como la identificación de un riesgo geológico.

Muchos mapas topográficos se realizan gracias a la fotogrametría aérea; utilizan pares estereoscópicos de fotografías tomadas en levantamientos y, más recientemente, desde satélites artificiales como los spot. En las fotografías deben aparecer las medidas horizontales y verticales del terreno. Estas fotografías se restituyen en modelos tridimensionales para preparar la realización de un mapa a escala. Se requieren cámaras adecuadas y equipos de trazado de mapas muy precisos para representar la verdadera posición de los elementos naturales y humanos, y para mostrar las alturas exactas de todos los puntos del área que abarcará el mapa.

2.1.1. Clasificación de la fotogrametría

La fotogrametría analógica comprende la formación del modelo estereoscópico por medios analógicos y trazado mecánico del mismo obteniéndose mapas de líneas convencionales.

La fotogrametría analítica comprende la formación del modelo estereoscópico por medios analíticos y la recolección de información en forma digital.

La fotogrametría digital permite a partir de imágenes digitales de la fotografía aérea (escaneada) obtener información digital del terreno.⁷

2.2. Manejo de mapas

2.2.1. Estereocorrelacion Automática

Para determinar las coordenadas de un punto de una foto aérea, basta con encontrar su homólogo en la otra foto del par estereoscópico. Cuando un operador de restitución realiza la búsqueda e identificación de puntos homólogos sobre el modelo estereoscópico lo hace en forma mentalmente automática pero precisamente esta tarea que puede llegar a ser muy repetitiva generalmente insume la mayor parte del tiempo de restitución, consecuentemente si se espera obtener un mayor rendimiento en los tiempos de restitución, esta operación debería lograrse automatizar.

Para comenzar a analizar este tema, hay que comenzar primero por considerar los algoritmos de correlación automática. Estos algoritmos realizan la comparación de una pequeña ventana de píxeles correspondiente a los alrededores de un punto considerado en la imagen izquierda con las distintas ventanas posibles del punto homólogo de la imagen derecha. Esta comparación es bidimensional para el caso de la posición de los píxeles dentro de la matriz imagen y también puede considerarse como tridimensional si consideramos como un atributo espacial a la respuesta radiométrica del píxel (nivel de gris). Aquí se plantea un problema de cálculo bastante importante ya que el número de operaciones requeridas para

⁷ Caire, L. J. (1983). *Cartografía Matemática 1*. México: Instituto Politécnico Nacional.

encontrar un determinado píxel de una imagen de referencia en su imagen conjugada puede ser muy grande, además cuando las imágenes digitales no han pasado por un buen proceso de ajuste radiométrico previo se presenta mucha incertidumbre en la determinación del píxel homólogo puesto que puede haber muchos píxeles con las características del píxel de referencia.

Los algoritmos de cálculo tratan de hallar una solución única y para ello utilizan una técnica que consiste no en comparar niveles de gris de un píxel particular sino en tomar matrices de píxeles lo más cercanas a la solución final (matrices pequeñas $N \times N$), y comparar con ecuaciones como las de convolución discreta bidimensional. Luego cuando los niveles de gris de cada píxel de la matriz comparados con los niveles de gris de la otra matriz de la imagen conjugada son iguales hemos logrado la correspondencia buscada. Esto es desde el punto de vista teórico matemático que surge como la necesidad de los algoritmos de cálculo pero en la práctica la situación se presenta más compleja debido a que las imágenes aparte del “ruido” propio del proceso digital también se ven afectadas por los factores de los cambios de perspectiva que hacen que un mismo objeto sobre la superficie del terreno tenga una respuesta radiométrica diferente, por otra parte siempre están las distorsiones geométricas debido al relieve del terreno.⁸

2.3. Imagen fotográfica y sus productos

Generalmente a la restitución usual de un Modelo le sigue un proceso cartográfico que da como resultado la obtención de una Carta Topográfica convencional, las dificultades que presentan estas cartas obtenidas con esta metodología de trabajo está en la actualización. Los productos digitales permiten realizar una

⁸ Díaz de Terán, J.R. (1989). *Tipos y metodologías de cartografías geoambientales o geocientíficas*. En: Geología Ambiental, (F.J. Ayala y J. Jordá, Eds.). I.T.G.E., Madrid, pp. 239-257.

actualización continua no siendo necesario volver a efectuar una restitución. Por otra parte la posibilidad de manejar la información directamente en capas (Layers), facilita mucho la carga de datos en Sistemas de Información Geográficos (GIS), agilizando de esta manera la toma de decisiones que en el campo de los accidentes ambientales (riesgo geológico) puede ser crucial en la mayoría de los casos.

2.3.1 Fotografía Aérea

Es el elemento básico del proceso fotogramétrico y podrá usarse directamente en el levantamiento catastral en la fase de investigación de campo, a través de un estudio estereoscópico en la identificación de los linderos del área de estudio (ver Figura No. 11). Debido a las deformaciones de la fotografía no podrá utilizarse directamente como base para obtener la información métrica directamente de la misma.⁹

⁹ T. Gil Piqueras. (2003). *Levantamientos planimétricos en edificación*. Valencia: UPV.

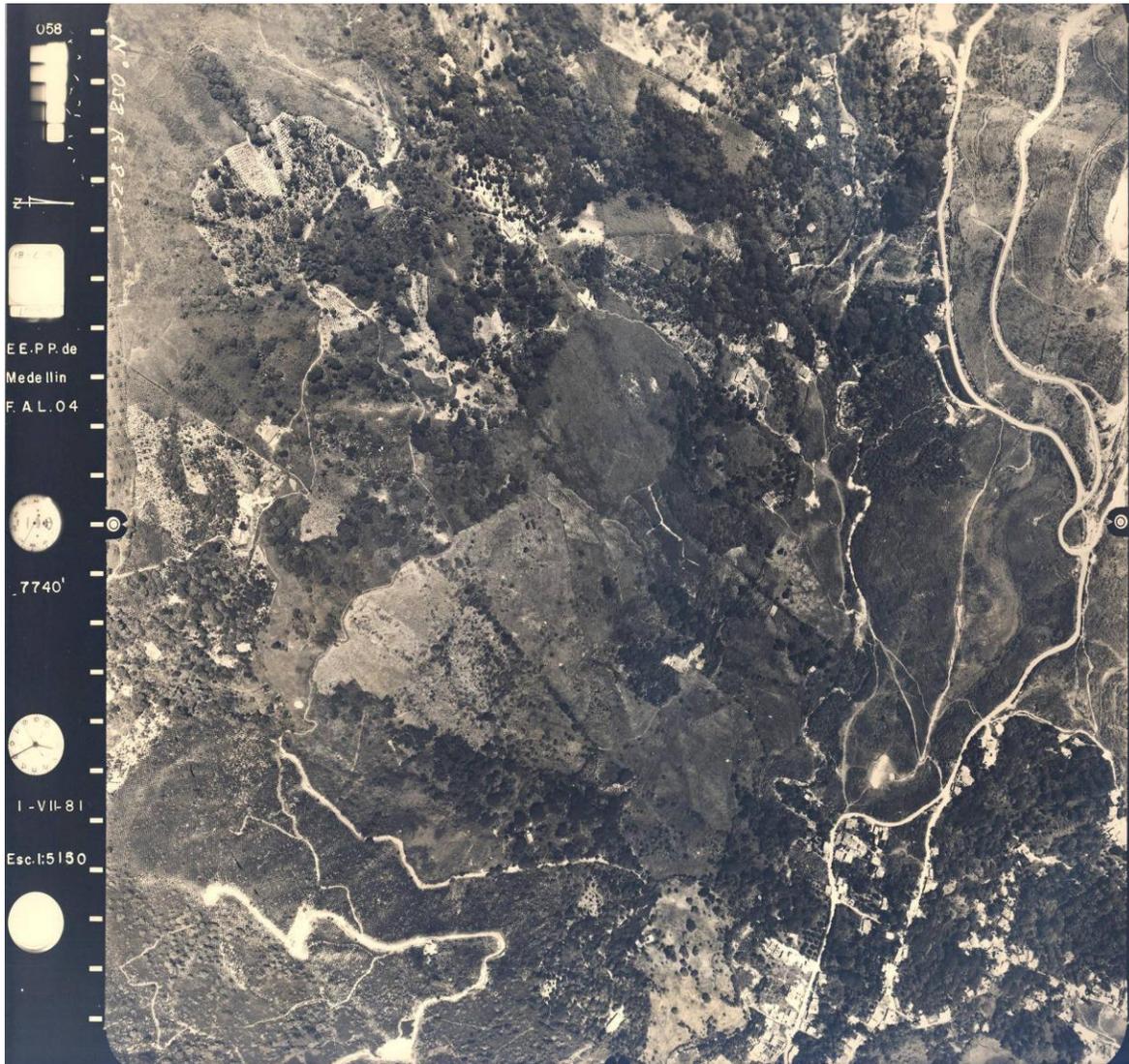


Figura No. 11.- Fotografía Aérea.

2.3.2. Fotomosaicos

Es el ensamblaje del grupo de fotografías aéreas que cubren determinada área. Estos se determinan controlados si están formados por fotos rectificadas u ortofotos (ver Figura No. 12).

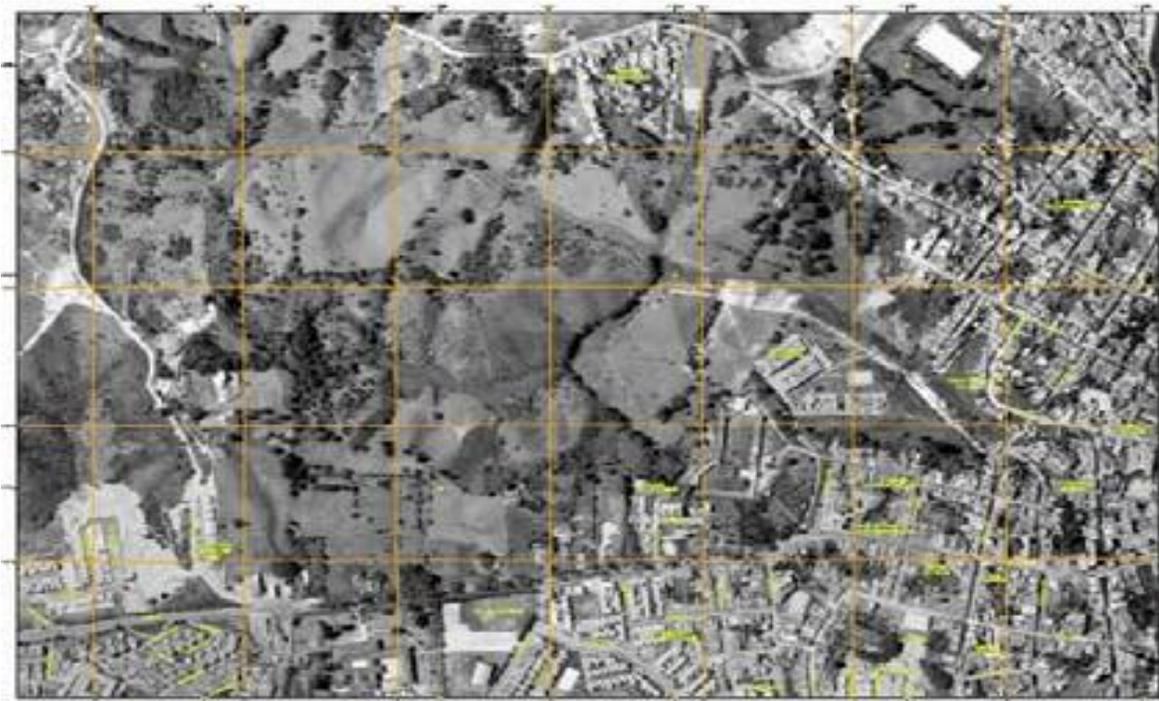


Figura No. 12.- Fotomosaicos.

2.3.3. Ortofotos

La ortofotografía (del griego Orthós: correcto, exacto) es una presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico.

La ortofoto u ortofotografía rectificada diferencialmente es una impresión fotográfica en la cual cada elemento de la imagen aérea (tomadas desde un avión o satélite) es proyectado individualmente en orden de obtener una escala uniforme, es decir que las distorsiones causadas por la no-verticalidad de la cámara y el relieve del terreno son eliminadas. A este proceso de corrección digital se le llama ortorectificación. Por lo tanto es posible realizar mediciones exactas.

La ortofoto tiene las mismas características métricas de un mapa y la riqueza informativa de la fotografía aérea digital (ver Figura No. 13).¹⁰



Figura No. 13.- Ortofoto.

2.3.4. Mapa Topográfico Convencional

Es el producto gráfico en el cual los detalles topográficos y culturales del terreno son representados a escala uniforme por medio de simbología apropiada. En el proceso fotogramétrico, estos detalles son extraviados de la fotografía aérea.

Tienen la cualidad de que por medio de las curvas de nivel se puede interpretar la forma de la superficie de la tierra, sabiendo si hay montañas, valles, ríos, riscos y

¹⁰ Academia Politécnica Militar (2001). *Lectura de Cartas Topográficas* (CD ROM). Santiago, Chile: Autor.

demás cualidades del terreno que no se encuentran en un mapa normal. Tienen además información sobre ríos, presas, lagos y océanos. Indican todo aquello construido por el hombre como ciudades, poblaciones, cortinas de presas, líneas de electricidad, teléfono, telégrafo y uno de los que más nos interesan que son veredas (single tracks), brechas y terracerías.

En México estos mapas son producidos por el INEGI en varias escalas entre ellas la 1:1, 000,000 que muestra grandes extensiones del territorio; los de escala 1:250,000 abarcan menos territorio pero tienen más detalle por lo que son buenos para identificar el tipo de terreno y cualquier falla que exista en el.

2.3.5. Mapa Digital

Es el conjunto de archivos digitales, es decir el registro de coordenadas de puntos aislados y series de puntos que junto al código respectivo representan las características topográficas y culturales del terreno y cuyo proyecto final pueden ser ficheros digitales, mapa impreso u ortofoto digital.

2.4. Proceso de construcción de cartografía digital

El proceso de construcción de una cartografía mediante procedimientos digitales no varía mucho de los mecanismos altamente probados y eficaces de la cartografía tradicional.

Luego del control de la calidad del vuelo fotogramétrico en cuanto a su calidad geométrica, se procede a enviar la información a la división de geodesia que es la encargada de los apoyos de campo. Esta división luego entrega monografías de coordenadas para pasar a la división de aerotriangulación. Posteriormente se

realiza la restitución y luego de diversas pruebas con el objeto, a fin de detectar errores, se llega a lo siguiente:

- ❖ Test de Corrupciones: busca errores e impide que los errores se propaguen.
- ❖ Test de Estructura: analiza la estructura general de la restitución.
- ❖ Test de Conectividad: analiza la conectividad de las curvas de nivel, que no se corten entre sí. Capas de conectividad:
 - Orografía 3D
 - Hidrografía 3D
 - Construcciones 3D
 - Energía 3D
 - Limites 3D
 - Usos del suelo 3D

Las Cartas Topográficas de Línea contienen información planialtimétrica de gran precisión, es la cartografía básica para la realización de estudios esenciales. El Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) publica Cartas Topográficas a escalas 1:500000, 1:250000, 1:100000 y 1:50000.

2.5. Escalas

2.5.1. Clasificación de las escalas por sus planos de comparación

Las escalas se pueden clasificar en base a una expresión matemática correspondiente a la altura de la aeronave que toma la fotografía, la cual hace referencia a los planos de comparación.

En base a los planos de comparación podemos clasificar las escalas en:

Escala Absoluta.

Escala media.

Escala Relativa.

2.5.1.1. Escala Absoluta

Cuando la expresión matemática correspondiente a la altura de la aeronave es referenciada con respecto al plano de comparación (N.M.) Tendremos una escala absoluta (Esc. Abs.) Ver Figura No. 14.

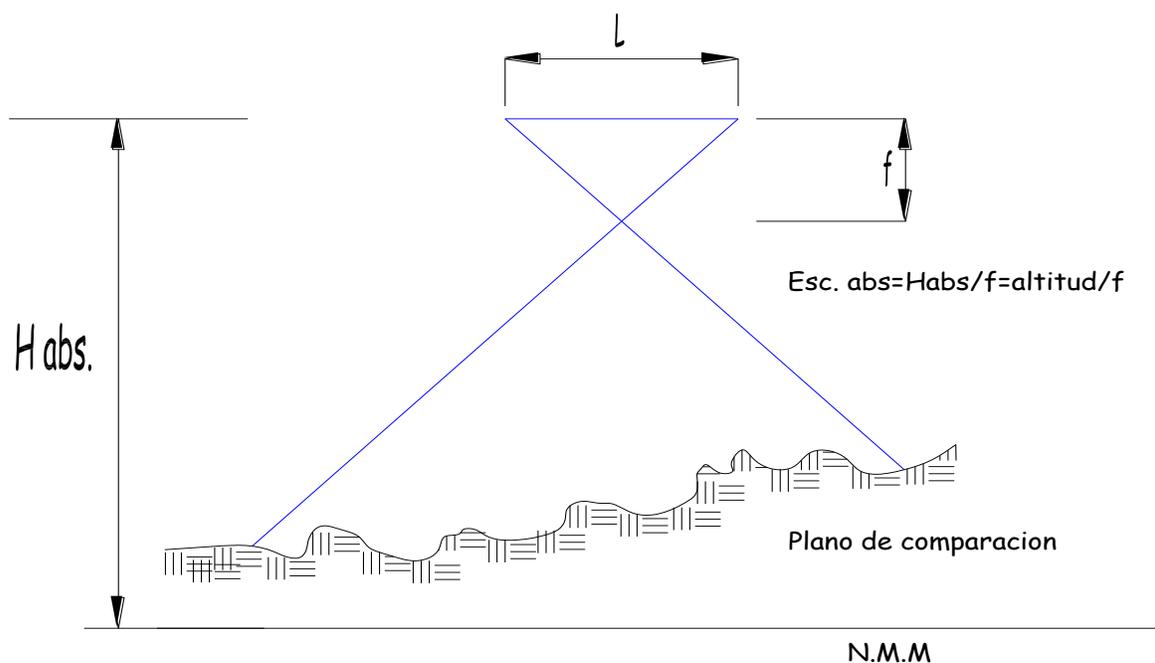


Figura No. 14.- Representación de la Escala Absoluta.

2.5.1.2. Escala Media

Cuando la expresión matemática correspondiente a la altura de la aeronave es referenciada con respecto al plano de comparación (P. M.) tendremos una escala media (Esc. Med.), como se observa en la siguiente Figura No. 15.

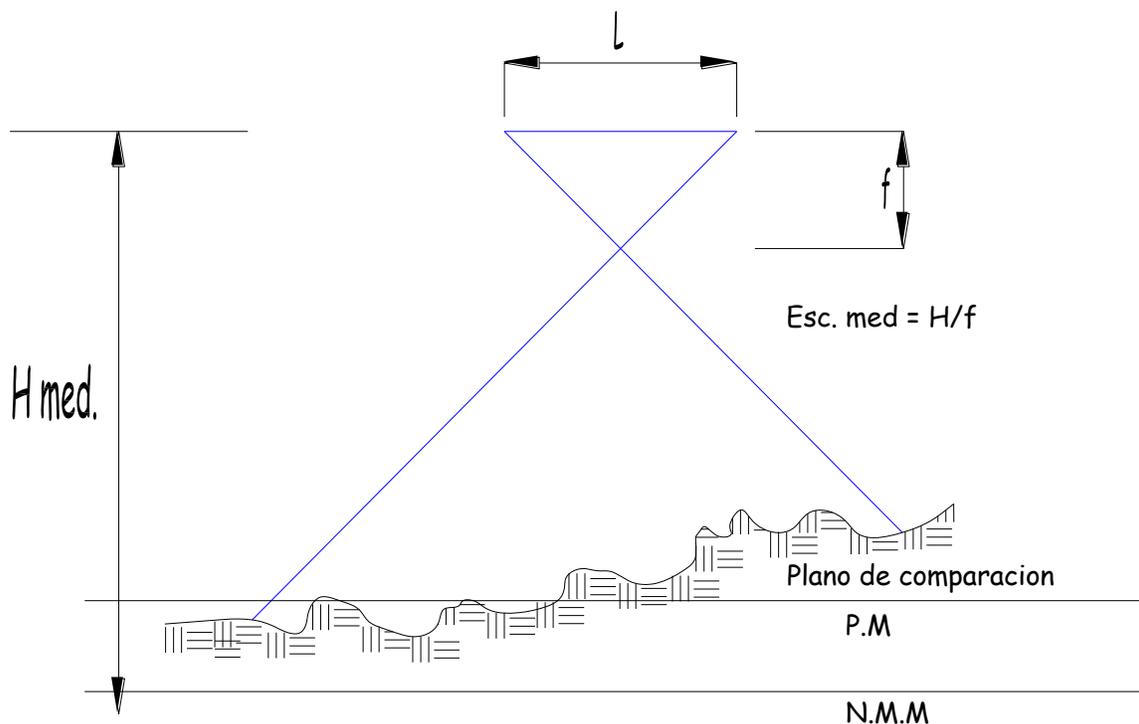


Figura No. 15.- Representación de la Escala Media.

2.5.1.3 Escala Relativa

Cuando la expresión matemática correspondiente a la altura de la aeronave es referenciada con respecto al plano de comparación (P.R) tendremos una escala relativa (Esc. Rel.). El P.R. se puede confundir con el P.M. o el N.M.M.

En la Figura No. 16, se observa el plano relativo y su correspondiente altura relativa (H_R) que son los datos importantes para obtener la Escala relativa (ER).

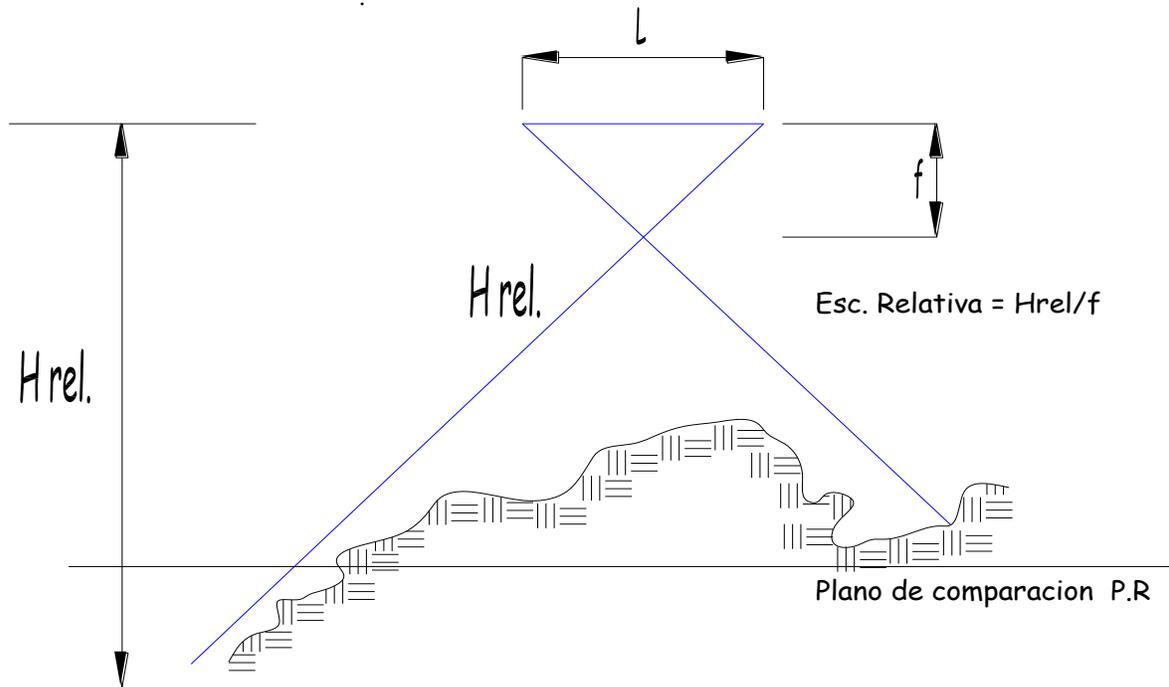


Figura No. 16.- Representación de la Escala Relativa.

2.5.2. Clasificación de las escalas por su precisión

Para poder abordar y conocer este tema es necesario conocer con anterioridad algunos conceptos de suma importancia.

Las representaciones matemáticas más usadas en la ingeniería de las escalas son:

Por medio de una razón proporcional	1: 25,000
Por medio de una fracción	1: 25,000
Gráficamente	1 cm. = 250 m

La representación por medio de una razón proporcional no requiere mayor explicación, que decir, que los dos términos deben de ser en las mismas unidades y que es la más usada en trabajos fotogramétricos.

En la representación por medio de una fracción, el numerador nos indica la unidad gráfica, o sea una medida lineal en el dibujo y el denominador es la unidad tomada en el terreno; En base a esto, anteriormente definimos ya el módulo de escala que era: $1/E$.

En esta expresión debemos observar que cuando el denominador es pequeño $1/50$ la expresión gráfica de la imagen aumentan de tamaño y cuando el valor del denominador es grande $1 / 50,000$ la representación gráfica en el papel es pequeña, por tanto su denominación estará en función de la imagen que se quiere conocer, de acuerdo a éstas consideraciones se clasificaron las escalas de la siguiente manera.

$1 / 50$ a $1 / 1,000$ serán escalas grandes o de detalle.

$1 / 1,000$ a $1 / 25,000$ serán escalas medias o de proyecto.

$1 / 25,000$ a $1 / 1,000 000$ serán escalas pequeñas o informativas.

Por su Precisión las Escalas pueden ser:

- *Escalas grandes o de detalle
- *Escalas medias o de proyecto
- *Escalas chicas o informativas

2.5.2.1 Escalas grandes o de detalle

Estas escalas se emplean para la elaboración de Planos de construcción en los cuales deben quedar perfectamente bien determinados todos aquellos detalles constructivos propios de las obras de ingeniería, su aplicación como podemos ver son de suma importancia ya que de ellos dependerá llevar a buen término éstas obras, por dar algunos ejemplos diremos que su uso es tan variado que los

mismos se aplican a una casa habitación como a un puente o a un levantamiento de caminos, etc.

2.5.2.2. Escalas medias o de proyecto

De (1: 1,000 a 1: 25,000) dentro de esta gama quedaran comprendidos todos aquellos planos topográficos sobre los cuales se harán los proyectos y trazos geométricos definitivos de toda obra de ingeniería, a saber: Vías de comunicación (caminos, ferrocarriles, líneas de transmisión eléctrica, telefónica, etc.)

2.5.2.3. Escalas chicas o informativas

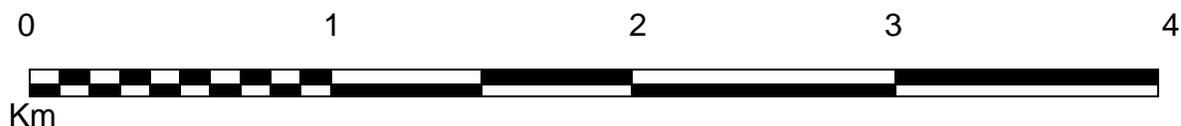
Su mayor aplicación está en todos aquellos planos topográficos que se quieren conocer integralmente la problemática del área, estos planos no presentan detalles de la obra, sin embargo, son de gran utilidad ya que como su nombre lo indica el proyecto no será posible sin su elaboración, estos planos son regionales, distritales, estatales, etc.

Ahora bien, retomando el tema de la representación más usada en la ingeniería, es la representación grafica que aparece en los mapas y planos.

2.5.2.4. Representación gráfica

Principalmente es en la elaboración de mapas donde más se usa, ya que como se tienen demasiadas dimensiones resulta más cómodo y se ahorra tiempo cuando se requiere tomar una medida o conocer una distancia entre dos lugares, hacer uso de la escala gráfica nos permite pasar de una longitud real a una longitud gráfica con gran rapidez y viceversa. Como se muestra en el siguiente ejemplo de una escala grafica.

Ejemplo de una escala gráfica.



ESC. 1: 1,000

2.6. Mosaicos fotográficos

Los mosaicos fotográficos son útiles para efectuar reconocimiento, estudiar el terreno, o para formar un mapa topográfico. En cualquier caso debe cubrirse fotográficamente toda la zona de estudio mediante un plano de vuelo fotogramétrico, Figura No.17.

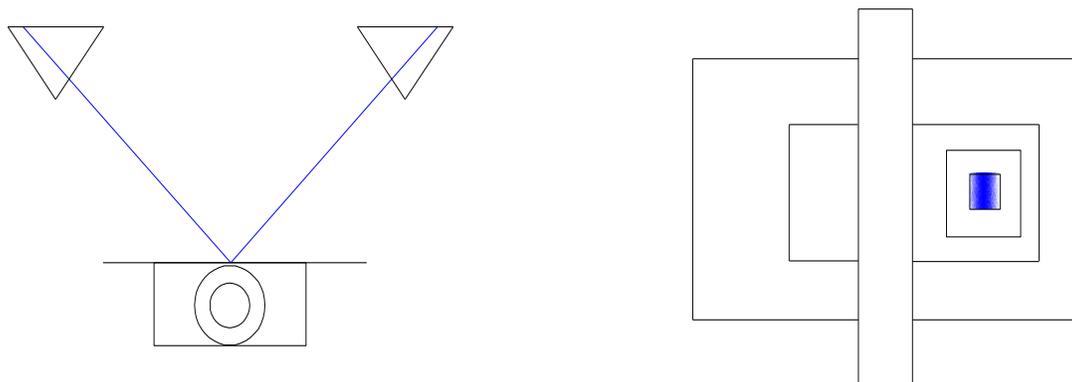


Figura No. 17.- Mosaicos Fotográficos.

El número mínimo de fotografías necesarias, se obtendría haciendo que la superficie del terreno abarcada por cada fotograma, fuera tangente al del anterior, de ésta manera quedaría toda la superficie del terreno cubierta en el supuesto de que el mismo fuera perfectamente horizontal y llano, y que el avión mantuviera una altura de vuelo constante, ver Fig. 18.

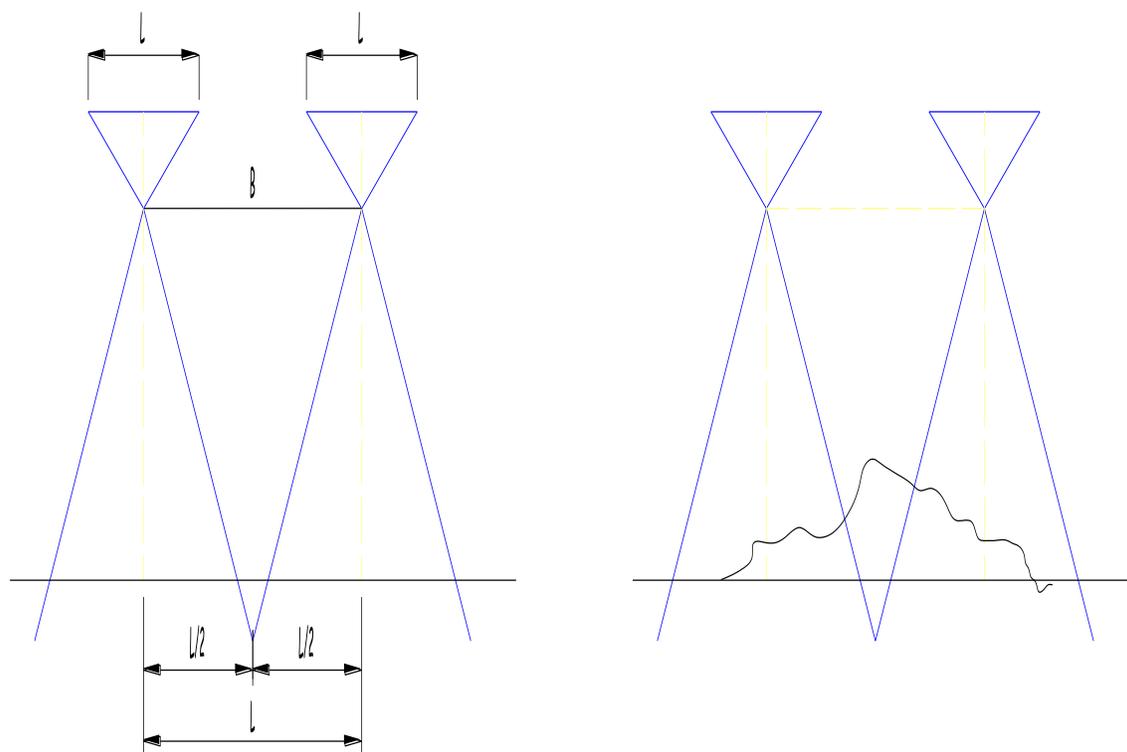


Figura No. 18.- Fotografías aéreas.

Pero éstas condiciones raramente se cumple y lo normal será que el terreno no sea llano, o que la altura de vuelo del avión no sea exactamente la misma en las dos tomas, o que el eje de algunas de las cámaras tenga alguna inclinación de acuerdo a la Figura No. 19, en todos estos casos nos quedarán algunas zonas de terreno sin cubrir, como vemos en las figuras.

Para evitar éstas lagunas, en los itinerarios aéreos se toman las fotografías de manera que se solapen las zonas cubiertas por cada dos fotografías consecutivas, tanto en sentido longitudinal, como en transversal (ver Figura No. 19).

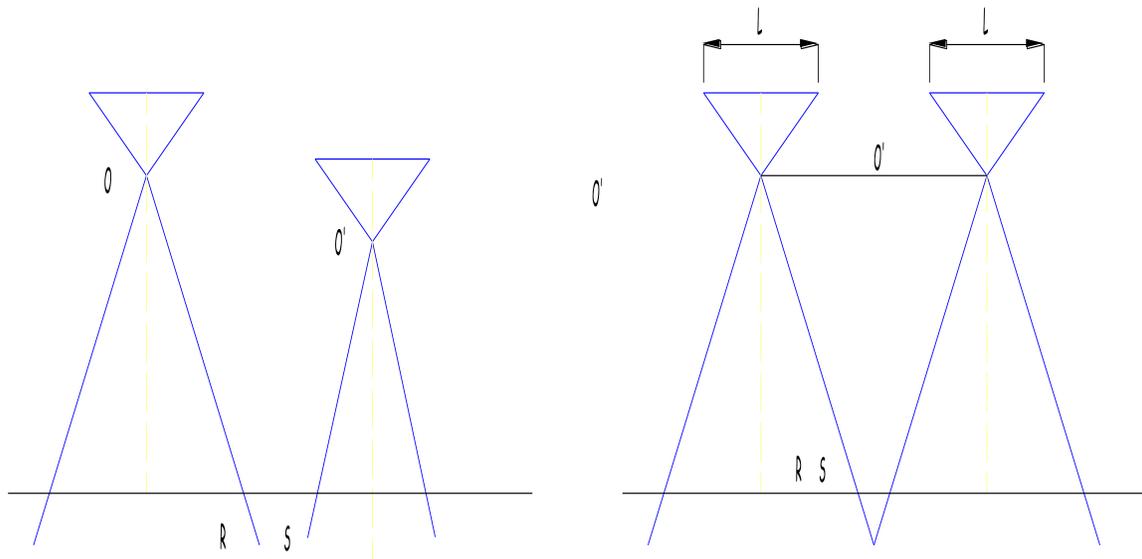


Figura No. 19.- Fotografías consecutivas.

Los valores de base de fotograma y tiempo de toma de fotografías, no hace falta calcularlos cuando se utilizan cámaras automáticas, ya que éstas llevan un regulador de recubrimiento, que en función de la velocidad del avión y del recubrimiento deseado, produce los disparos en el momento preciso.

De forma análoga se calcula la separación entre las líneas de vuelo de dos pasadas adyacentes, para obtener el recubrimiento que se determine.

2.7. Aplicación de la fotogrametría y cartografía al área de trabajo

La Fotogrametría y Cartografía son materias básicas que estarán formando parte de nuestra vida profesional, directa o indirectamente, en la realización de obras de ingeniería civil y aplicada en diferente magnitud en cada una de ellas.

Actualmente en México existen contadas empresas que se dedican a la realización de Estudios Fotogramétricos y Cartográficos, Ya que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), cuenta con gran cantidad de información sobre diversos estudios realizados en la mayor parte del territorio nacional, enfocándose entonces a estas empresas de estudios de zonas específicas y a una escala mayor, para ser empleados con diversos fines, como lo son: vías de comunicación, estudios hidrológicos para la ubicación de sitios de almacenamiento, catastro, guías turísticas, proyectos de infraestructura en zonas habitadas, estudios detallados de terreno para la obtención de bancos de material, minerales o hidrocarburos, estudios para determinar un riesgo geológico, etc.¹¹

El Gobierno mexicano depende de gran parte de la información proporcionada por el INEGI. En el ramo de la construcción, los datos obtenidos por el INEGI van encaminados al abatimiento de tiempos y recursos en cada una de las etapas que conforman las obras de ingeniería civil.

La Fotogrametría y Cartografía se utilizan como apoyo en estudios preliminares, y posteriormente para revisar y corregir proyectos.

Es muy difícil llegar a trabajar en forma directa dentro del proceso fotogramétrico, debido a que existe muy poca oferta de trabajo, además de que la evolución que ha tenido la Fotogrametría hasta nuestros días tienden a desplazar al ser humano en algunos procesos, ya que se ha implementado el uso de fotografías vía satélite (ver Figura No. 20), procesos computarizados en la elaboración de cartas y mapas, etc., que agilizan completamente los trabajos.

¹¹ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [En red]. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>



Figura No. 20.- Imagen de satélite útil para el planeamiento urbano.

Finalmente el estudio fotogramétrico sirve también para la elaboración de un plano general del terreno, sobre el cual se ubican las obras de mantenimiento que se realizarán para tomar las precauciones necesarias ante el riesgo geológico.

La aplicación de la fotogrametría y Cartografía se basa en primera por el reconocimiento del terreno a través de las cartas topográficas editadas por el INEGI. En dichas fotografías se ubicará la ruta que se ha de seguirse para la selección del sitio de seguridad ante el riesgo geológico latente.

Posteriormente estando físicamente en la zona, se hacen recorridos a pie y se define la ruta más factible para realizar el trazo donde se ubicará la zona de seguridad, existiendo algunos cambios con respecto a la ruta original.

Concluyendo se tiene que la Fotogrametría y la Cartografía aplicadas a las obras de Ingeniería Civil, son materia indispensable en etapas de anteproyecto, elección

de rutas, proyecto y ejecución de la obra, además que agiliza los trabajos y nos da un panorama general de la situación existente en cada caso.

2.8. Visión estereoscópica

Los seres humanos y otros animales son capaces de enfocar los dos ojos sobre un objeto, lo que permite una visión estereoscópica, fundamental para percibir la profundidad. El principio de la visión estereoscópica puede describirse como un proceso visual relacionado con el uso de un estereoscopio, el cual muestra una imagen desde dos ángulos ligeramente diferentes, que los ojos funden en una imagen tridimensional única

La Estereoscopia es una propiedad que permite que los objetos se observan en tercera dimensión, dentro de esta, existe la natural y la artificial.

Estereoscopia Natural: Es una propiedad de los seres vivos.

Estereoscopia Artificial: Es una propiedad de observar la tercera dimensión por medio de un estereoscopio.

2.8.1. Estereoscopio

Instrumento óptico a través del cual pueden observarse fotografías de objetos, pero no como representaciones planas, sino con apariencia sólida y con profundidad. Es un instrumento donde se presentan al mismo tiempo dos fotografías del mismo objeto, una a cada ojo. Las dos fotografías están tomadas desde ángulos ligeramente diferentes y se observan a través de dos objetivos con lentes separadas e inclinadas para que coincidan y se fundan las dos imágenes en una tridimensional (ver Figura No. 21).

La fotografía estereoscópica aérea permite realizar representaciones en tres dimensiones que pueden utilizarse en la preparación de mapas de relieve.

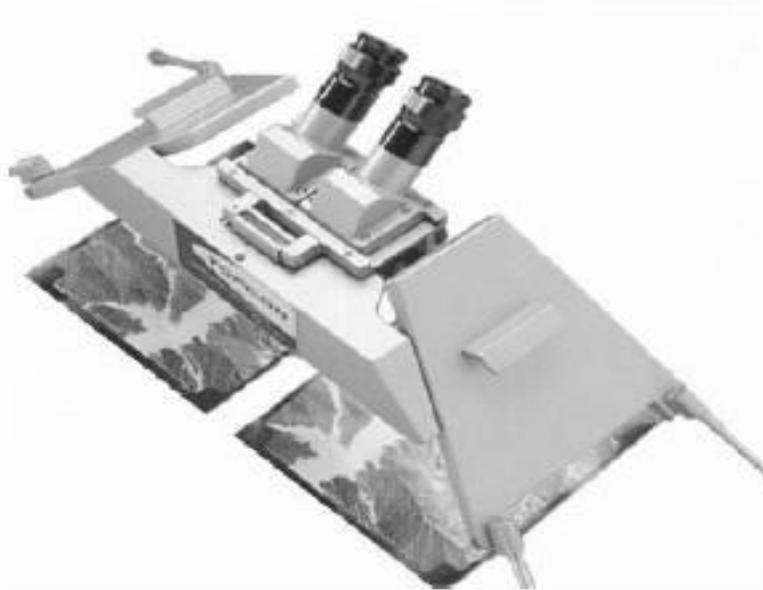


Figura No. 21.- Estereoscopio de espejo.

2.8.2. Reconocimiento aéreo

Estudio de la superficie terrestre utilizando imágenes tomadas desde aviones o satélites. El reconocimiento aéreo se ha hecho valioso en grado sumo para el levantamiento de mapas, la agricultura, los estudios del medio ambiente y las operaciones militares. Mediante el uso de imágenes aéreas, los científicos pueden analizar los efectos de la erosión del suelo, observar el crecimiento de los bosques, gestionar cosechas o ayudar a la planificación del crecimiento de las ciudades. La ciencia que establece medidas precisas y crea mapas detallados a partir de las imágenes aéreas se denomina fotogrametría.

El reconocimiento aéreo implica el uso de equipos de teledetección; un sensor remoto es cualquier instrumento que consigue información sobre un objeto o área situado a distancia. Los sensores más comunes utilizados en el reconocimiento aéreo son cámaras sofisticadas que consiguen fotografías capaces de revelar objetos de sólo unos metros de anchura desde altitudes de más de 19 kilómetros.

Los científicos usan también cámaras digitales para registrar imágenes aéreas en un disco de computadora y videocámaras para grabar imágenes en cintas de vídeo. A diferencia de las fotografías convencionales, estas imágenes pueden ser vistas de inmediato. La película de rayos infrarrojos produce imágenes que muestran variaciones en energía infrarroja reflejada invisible, útiles en concreto para recabar información sobre la vida de las plantas. El uso de computadoras tiene gran importancia en el reconocimiento aéreo, pues permite mejorar la calidad de las imágenes y acrecentar el alcance de la información que proporcionan.

Aunque a mediados del siglo XIX se conseguían fotografías aéreas desde globos aerostáticos y cometas, el reconocimiento aéreo no alcanzó una amplia utilización hasta la I Guerra Mundial, cuando las cámaras se montaron en aviones. Las aplicaciones militares de la fotografía aérea adquirieron mayor importancia durante la II Guerra Mundial, gracias al desarrollo de los aviones, cámaras y películas. Al final de la década de 1930 y durante la de 1940, Estados Unidos realizó los primeros reconocimientos aéreos de grandes áreas, en apoyo de una serie de programas gubernamentales para la conservación del suelo y la gestión forestal. En la actualidad, la mayor parte de la superficie terrestre ha sido fotografiada mediante el reconocimiento aéreo.¹²

2.8.3. Cámaras Aerofotográficas

Las cámaras fotográficas para cartografía aérea son tal vez los instrumentos fotogramétricos más importantes, ya que con ellas se toman las fotos de la que depende esta tecnología. Para entender la fotogrametría, especialmente la base geométrica de sus ecuaciones, es fundamental tener un conocimiento elemental de las cámaras y cómo operan.

¹² Chuvieco, E. (2000). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid, España: Ediciones Rialp S.A.

Las cámaras aéreas tienen que realizar un gran número de exposiciones en rápida sucesión, mientras se desplazan en un aeroplano a gran velocidad, de modo que se necesita un ciclo corto, lente rápida, obturador eficiente y magazín de gran capacidad. Todo esto para que las fotografías sean de buena calidad y las podamos utilizar en los procesos de la fotogrametría.

2.8.4. Tipos de Fotografías Aéreas

Las aerofotos logradas con cámara unilentes de cuadro se clasifican como verticales (que son tomadas estando el eje de la cámara vertical hacia abajo, o lo más verticalmente posible), y oblicuas (tomadas estando el eje intencionalmente inclinado en cierto ángulo con respecto a la vertical). Las fotografías oblicuas se clasifican además en altas, si el horizonte aparece en la foto o baja si no aparece.

Las fotos verticales son el modo principal de poseer imágenes para el trabajo fotogramétrico (ver Figura No. 22).



Figura No. 22.- Fotografía aérea vertical.

Las fotos oblicuas rara vez se utilizan en cartografía o en aplicaciones métricas, pero son útiles en trabajos de interpretación y reconocimiento.

2.8.4.1. Aerofotos Verticales

Una foto verdaderamente vertical se logra cuando el eje de la cámara está exactamente a plomo al efectuar la exposición. A pesar de las precauciones tomadas existen invariablemente pequeñas variaciones, por lo general menores

de 1° y rara vez mayores de 3° . Las fotos casi verticales (o con ladeo) tienen pequeñas inclinaciones no intencionales. Se han ideado métodos fotogramétricos para manejar fotografías inclinadas, de manera que la precisión no se sacrifica al elaborar cartas a partir de éstas.

2.8.4.1.1. Escala de una Aerofoto Vertical

Se interpreta comúnmente la escala como la razón entre una cierta distancia en un plano o mapa y la distancia real en el terreno, y esa relación es uniforme en todo punto, porque una representación gráfica de este tipo es una proyección ortogonal. La escala fotográfica en una aerofoto vertical es la razón de una distancia en la foto a la distancia correspondiente en tierra.

Coordenadas en Tierra a Partir de una sola Aerofoto Vertical:

Las coordenadas en el terreno de puntos cuyas imágenes aparecen en una foto vertical pueden determinarse con respecto a un sistema de ejes arbitrario localizado en tierra. Los ejes topográficos X, Y en el terreno, se hallan en los mismos planos verticales que los correspondientes ejes fotográficos x, y; el origen del sistema es el punto en el PR directamente debajo de la estación de toma. Las coordenadas topográficas de los puntos determinados de esta manera se emplean para calcular las distancias horizontales, ángulos horizontales y áreas.

2.8.4.1.2. Desplazamiento por Relieve (Tendido Radial) en una Aerofoto Vertical

Este desplazamiento es el cambio de posición o aspecto de una imagen a partir de una ubicación teórica en el PR, debido a la distancia vertical de objeto arriba o abajo del PR. El desplazamiento en una foto vertical se produce según líneas radiales, desde el punto principal, y aumenta en magnitud con la distancia de la imagen a este punto.

2.8.4.1.3. Altura de Vuelo para una Foto Vertical

De las secciones anteriores es evidente que la altura de vuelo sobre el PR es un parámetro importante en la resolución de ecuaciones fotogramétricas básicas. Para cálculos aproximados, las alturas de vuelo se pueden tomar de lecturas altimétricas, si se dispone de éstas.

2.8.5. Paralaje Estereoscópico

El paralaje se define como el desplazamiento aparente de la posición de un objeto con respecto a un marco de referencia, debido a un corrimiento en el punto de observación. Por ejemplo, una persona que mira a través del visor de una cámara aérea a medida que la aeronave avanza, ve el aspecto cambiante de las imágenes de los objetos que se mueven a través de su campo visual. Este movimiento aparente (paralaje) se debe a la ubicación cambiante del observador. Utilizando el plano focal de la cámara como marco de referencia, existe paralaje para todas las imágenes que aparecen en fotografías sucesivas, debido al movimiento de avance de entre una y otra exposición. Cuanto mayor sea la elevación de un punto, es decir, cuanto más cerca esté de la cámara, de mayor magnitud será el paralaje. En el caso de una superposición longitudinal de 60%, el paralaje de las imágenes en fotografías sucesivas debe ser, en promedio, aproximadamente de un 40% del ancho del plano focal.

2.8.6. Mediciones Estereoscópicas de las Imágenes

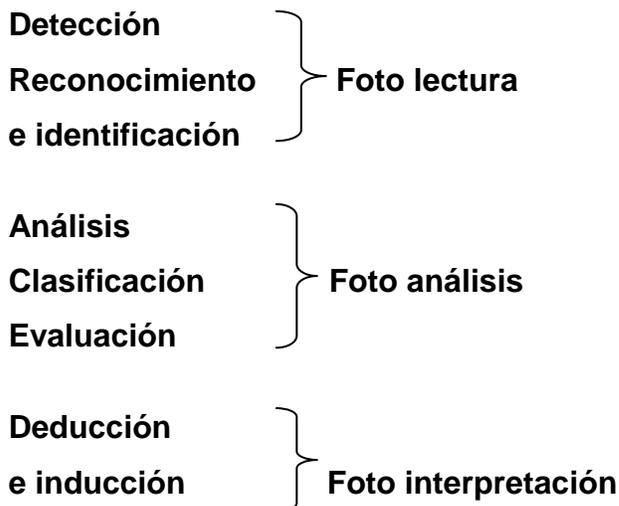
El paralaje de un punto se puede medir visualizando estereoscópicamente, con la ventaja de una mayor rapidez y exactitud, debido a que se utiliza visión binocular. Cuando el observador mira por el estereoscopio, dos pequeñas marcas idénticas gravadas en láminas de vidrio transparente, llamadas medios índices, se colocan sobre cada fotografía. El observador ve simultáneamente una marca con el ojo

izquierdo y la otra con el ojo derecho; luego se ajusta la posición de las marcas hasta que parecen confundirse o fusionarse en una sola, percibiéndose a una cierta altura. Conforme se varía el espaciamiento de las medias marcas, la altura de la marca fusionada parecerá fluctuar o "flotar", dándose el nombre de índice flotante.

2.9. Fotointerpretación

La fotointerpretación más que una ciencia, puede ser considerada como la técnica o arte de examinar la imagen fotográfica del terreno (u otros elementos) con el propósito de identificar los diferentes componentes del paisaje y suministrar información de interés para ingenieros civiles, geólogos, agrónomos, forestales, etc.

Las técnicas empleadas para la obtención de esta información pueden ser clasificadas en tres categorías:



Comúnmente estas técnicas son conocidas bajo el nombre de fotointerpretación, sin embargo, es importante conocer sus diferencias y en especial el tipo de información y el tipo de estudio que hace cada una de ellas.

Las técnicas de foto lectura se refieren a la detección, reconocimiento e identificación de objetos (edificios, caminos, límites de predios, vegetación, etc.) y su posición relativa.

El fotolector utiliza la fotografía aérea como un mapa base detallado y toda la información la obtiene por lectura directa de las fotos, por lo cual es de suma importancia la experiencia y conocimientos previos de la persona.

El análisis de las fotografías aéreas se define como el proceso de separar y analizar las partes que componen un todo y establecer su interrelación, con el fin de identificar el elemento estudiado en base a las características de sus componentes individuales. En el análisis de las fotografías se llega también a algunas conclusiones cuantitativas o semicuantitativas por el estudio del tamaño y otras características métricas directamente visibles en la fotografía. Así por ejemplo, además de identificar un camino, este puede ser clasificado de acuerdo a su tipo, ancho y capacidad.

La fotointerpretación comprende los procesos anteriores, pero además incluye un estudio detallado de los elementos que aparecen en la fotografías a fin de llegar a una correcta evaluación de los mismos, mediante un estudio deductivo o inductivo.

Deducción debe entenderse aquí como el estudio que de lo general lleva a lo particular basándose en evidencias convergentes, mientras que el método inductivo de lo particular se llega a lo general.

Para poder llevar a acabo cada uno de estos procesos de disección o inducción, es de fundamental importancia que el foto interprete tenga un buen nivel de referencia, es decir, que sus conocimientos teóricos, sus experiencias personales tanto en el campo como en el análisis de fotografías le permitan obtener rápidamente conclusiones bien fundamentales en el campo de su especialidad.

2.9.1. Características de la imagen fotográfica

Desde el punto de vista métrico, la imagen fotográfica esta afectada por las deformaciones geométricas; desplazamiento debido al relieve, desplazamiento debido a la inclinación y distorsión, estudiadas en capítulos anteriores y una serie de deformaciones menores como por ejemplo: cambios dimensionales por tensión o variación de temperatura y humedad, irregularidades de la superficie, estructura de la emulsión, etc.

Cualitativamente la imagen fotográfica debe ser estudiada bajo los siguientes aspectos.

- a) Nitidez, que es función de:
 - Las características del objetivo.
 - El enfoque del sistema.
 - El movimiento de la imagen (producido por vibraciones o tiempo de exposición prolongada).
 - Características del material fotográfico (poder de resolución, valor de gamma, revelado, etc.).

- b) Contraste que es función de:
 - Iluminación solar y condiciones atmosféricas en el momento de tomar la foto.
 - La reflectividad del objeto y sus alrededores.
 - La refracción por niebla atmosférica.
 - Sensibilidad espectral de la emulsión (pancromática, infrarroja, etc.).
 - Transmisión espectral del filtro (y del objetivo).
 - Proceso del revelado del negativo.
 - Proceso de copiado y revelado del positivo.

- c) Escala, que es función de:
 - El valor de distancia principal de la cámara.
 - La altura de vuelo sobre el terreno.

Es necesario agregar que la escala de la fotografía, es uno de los factores principales que facilita o dificulta la identificación (por lectura directa o análisis) de elementos de la fotografía.¹³

Cuando se emplea un estereoscopio para observar un par estereoscópico en tercera dimensión, a los elementos anteriores será necesario agregarle la exageración estereoscópica, que deforma la imagen observada del terreno, introduciendo un cambio de la escala vertical con relación a la escala horizontal.

2.9.2. Elementos para el análisis de fotografías

La fotografía aérea en blanco y negro representa el terreno en diferentes tonalidades de gris, desde un punto de vista que no es común al observador y a una escala generalmente reducida.

Es necesario considerar una serie de elementos que en formas directas o indirectas y analizadas en conjunto, ayudan al fotointerprete a identificar los elementos de su interés.

2.9.2.1. Tamaño

El tamaño del objeto observado, puede ser una gran ayuda para su plena identificación. Dos elementos diferentes pueden aparecer en la imagen fotográfica muy parecidos, sin embargo, la diferencia en tamaño puede ser el factor decisivo para su identificación.

El tamaño se refiere a las tres dimensiones de un cuerpo, de manera que además de medir las coordenadas planas se podrá medir la altura, por ejemplo, utilizando

¹³ Chapman H.D. y Pratt, P.F. (1973). *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. México, D. F.: Editorial Trillas, 195 p.

la barra de paralaje. Las sombras pueden ser también muy útiles para estimar el tamaño de un objeto.

2.9.2.2. Forma

La forma de los objetos, observada en una fotografía aérea tampoco es la que el observador está acostumbrado a ver y por eso es necesario adquirir experiencia mediante el estudio de muchos pares de fotografías para aprender a ver los objetos desde un punto de vista diferente. La forma contribuye a delimitar la clase a que pertenece un objeto y en muchos casos permite su clara e inequívoca identificación.

Por ejemplo una carretera y una vía férrea pueden parecer muy similares en una fotografía, sin embargo, las características especiales de pendientes y curvas de la vía férrea, esta puede ser fácilmente diferenciada.

En el estudio de una zona industrial, el análisis del tipo de estructura (forma de techo, chimeneas, ventilación, sistema de iluminación) puede conducir a la identificación de un tipo de fábrica.

2.9.2.3. Tono y color

El color contribuye positivamente en fotografías aéreas en colores a la identificación de objetos y su influencia es mucho mayor que la diferenciación de tonos de gris correspondientes a una fotografía en blanco y negro.

Para utilizar correctamente las diferencias en tonalidad de las fotografías es necesario conocer los factores que tiene influencia sobre estos tonos.

Un mismo objeto, por ejemplo un río, puede aparecer en una parte de la fotografía completamente negro, mientras que en otra parte de la misma foto puede

aparecer de color blanco, como consecuencia de la diferente reflectividad del agua (contenido de elementos en suspensión o sedimentos) o debido al ángulo de incidencia de los rayos solares.

En forma similar dos objetos diferentes, por ejemplo, pueden un pequeño lago y un tanque metálico parecer ambos en idénticos tonos de gris, por reflejar la misma radiaciones luminosas.

El ingeniero forestal emplea las diferentes tonalidades para diferenciar tipos de bosques, o para identificar especies o grupos de especies, el geólogo para diferenciar estructuras geológicas y tipos de rocas, sin embargo, no todo cambio de tonalidad implica necesariamente un cambio en las características del objetivo observado. Un mismo tipo de suelo puede aparecer bajo varias tonalidades en una misma foto dependiendo por ejemplo del grado de humedad.

La experiencia del fotointérprete es de suma importancia para evitar errores debidos a factores secundarios.

La sensibilidad de la emulsión y la transmisión del filtro empleado, también determinan la tonalidad que se produce en la fotografía.

Finalmente es necesario recordar que variando el proceso de revelado, es posible modificar las tonalidades de la fotografía, con lo cual queda demostrado que la diferente tonalidad, nunca debe ser el único factor determinante de la identificación de un objeto.

2.9.2.4. Textura

La textura puede ser definida como la distribución de tonos que presenta un conjunto de unidades que son demasiado pequeñas para ser identificados individualmente, en una fotografía.

El tamaño de los objetos que determina la textura, varía con la escala de la fotografía y en algunos casos, puede ser elemento suficiente para la identificación de objetos.

En fotografías de escala grande de zonas boscosas, las hojas son demasiado pequeñas para poder ser diferenciadas unas de otras, sin embargo, contribuyen a darle una textura especial a cada copa individual. En fotografías de escala pequeña, tomadas sobre zonas boscosas, toda la copa será el elemento que define la textura del tipo de bosque.

Los términos más comunes para referirse al tipo de textura son: lisa, granular, lanosa, moteada, etc.

2.9.2.5. Patrón

El patrón se refiere a la agrupación ordenada de ciertos elementos con características especiales, el drenaje, los cultivos, la vegetación y el uso de tierra pueden presentar ciertos patrones tipos, que permiten deducir o inferir una serie de elementos o características no directamente visibles en las fotografías.

El tipo, densidad y forma del drenaje pueden ser un indicativo muy claro del tipo de terreno o roca.

Un patrón de interpretación está constituido por fotografías individuales o pares estereoscópicos en los cuales se muestran claramente ciertas características de un objeto que se desea identificar y que permiten al observador organizar la información, conduciéndolo a la correcta identificación de objetos desconocidos.

Por ejemplo, una especie de arboles de un determinado bosque puede aparecer en fotografías de cierta escala con una textura o forma muy característica. Un

estereograma de dicho tipo de arboles puede ser muy útil para la identificación del mismo tipo de árbol en otra parte del bosque.

El empleo de patrones puede ser muy útil en la identificación de objetos, ya sea por selección o por eliminación, es decir, buscando un elemento similar al del patrón o bien descartando aquellos que no se parecen.

Los patrones son también muy útiles para uniformizar el trabajo de grupo. Realizado por varios fotointérpretes en una misma zona de terreno.

2.9.3. Preparación de las fotografías para su fotointerpretación

Las principales etapas para la preparación de fotografías para su interpretación son:

- Marcar puntos principales y líneas de vuelo.
- Marcar el área útil para fotointerpretación.

Estas áreas limitan la zona de la fotografía dentro de la cual se va a realizar la fotointerpretación.

- a) Si el terreno es plano podrá hacerse la interpretación en fotografías alternas, por ejemplo, en fotos pares o impares. En este caso las áreas estarán constituidas por las perpendiculares a las líneas de vuelo levantadas por los puntos principales transferidos.
- b) Si se trata de terreno montañoso, será necesario emplear todas las fotografías utilizando las mediatrices de las líneas de vuelo como líneas límites. Hacia la parte superior e inferior de las fotos deben trazarse rectas en la parte media del recubrimiento común en las fotografías de fajas adyacentes.

- c) Se orientan las fotografías para ser observadas en estereoscopios de espejo, tratando que las sombras que aparecen en la imagen caigan hacia el observador.
- d) Se procede a interpretar las fotografías.

El dibujo puede realizarse:

1. Directamente sobre las fotografías, utilizando lápices de grasa especiales, o marcadores con tinta permanente.
2. Sobre una transparencia, en cuyo caso será necesario dibujar las marcas fiduciales, los puntos principales y el número de la fotografía para su posterior identificación.

CAPITULO III

FOTOGRAMETRIA

DIGITAL

La fotogrametría digital, actualmente en auge, surge como consecuencia del gran desarrollo de la computación, que permitió realizar todos los procesos fotogramétricos mediante el uso de computadores. Con la fotogrametría digital crecen las posibilidades de explotación de las imágenes aéreas, a la vez que se simplifican las tecnologías, permitiendo con ello la generación automática de modelos de elevación del terreno, ortoimágenes y estereortoimágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales etc.

Para llevar a cabo la restitución digital, las imágenes digitales son ingresadas en el computador, y mediante visualización en pantalla de las mismas, el operador ingresa los puntos necesarios para realizar el proceso de orientación en forma matemática. La restitución puede ser un proceso iterativo con el operador o ser realizada en forma automática por correlación de imágenes. La salida en la fotogrametría digital puede ser en formato raster o formato vectorial.

Ventajas de la fotogrametría digital:

- Imágenes de gran estabilidad dimensional.
- Facilidad de visualización.
- Tratamiento por software de las imágenes digitales.
- Automatización de los procedimientos.
- Generación de productos en formato digital.
- Facilidad de distribución de las imágenes y de los productos.

Desventajas de la fotogrametría digital:

- Requiere de elevado volumen de almacenamiento.
- Técnica reciente y aun en desarrollo.

El trabajo que realiza el área de fotogrametría digital tiene diferentes aplicaciones en el campo de la ingeniería civil, algunos de los más destacados se mencionan a continuación:

- Almacenamiento de datos de elevación para mapas topográficos digitales en base de datos nacionales.
- Problemas de cortes y rellenos en diseño de vías.
- Análisis de visibilidad en planeamiento urbano.
- Planeamiento de vías, canales de riego o drenajes, localización de presas.
- Análisis estadístico y comparación de diferentes tipos de terreno.
- Análisis y cálculo de pendientes del terreno, mapas de aspectos y perfiles de pendientes que puedan ser utilizados para preparar estudios geomorfológicos, estimar pérdidas por erosión.
- Mostrar información temática o por combinación de datos del relieve con datos temáticos como suelos, uso del suelo o vegetación.
- Proporcionar datos sobre modelos de simulación de deslizamientos o procesos de deslizamientos.
- Reemplazar la altitud por otros atributos de variación continua, el D.T.M. Puede representar niveles de polución de agua subterránea, población, costos etc.¹⁴

3.1. Interrelación de la fotogrametría digital con otras disciplinas.

Actualmente, la fotogrametría, en su forma de fotogrametría digital, comparte algunos elementos con disciplinas como el tratamiento digital de imágenes y la visión por computadora. Esto resulta en un solapamiento entre estas disciplinas en áreas de aplicación tales como cartografía basada en imágenes y fotogrametría terrestre entre otras.

Como resultado de la adopción de la imagen digital por la fotogrametría, se importó con ella gran parte de las técnicas usadas en tratamiento digital de imágenes, tales como el mejoramiento de contraste, igualación de histogramas, filtros y re muestreó, siendo las primeras operaciones necesarias para optimizar la visualización de la imagen digital y la última para reconstruir visualmente la

¹⁴ Instituto Geográfico Militar (2003). *Atlas Geográfico para la Educación*. Santiago, Chile: Autor.

imagen modificada por los procesos geométricos llevados a cabo sobre ella. Además, al usar la computación para resolver las ecuaciones que forman la imagen digital en 2D, y a partir de estas, el modelo 3D, se adoptaron métodos previamente desarrollados por la visión por computadora.

En efecto, los métodos de calibración de cámara digital establecidos en la visión por computadora, se pueden usar en el caso de la fotogrametría digital, permitiendo de esta manera el uso de cámaras no métricas para fines de restitución. Otro punto en común lo constituye la teoría de la coplanaridad, desarrollada por la fotogrametría, y adoptada por la visión por computadora bajo el nombre de teoría epipolar.

Aunque la fotogrametría tiene como propósito la reconstrucción de la realidad en forma de modelos tridimensionales estáticos de gran exactitud, para ser usados con fines cartográficos, y la visión por computadora está dedicada a la construcción de modelos tridimensionales dinámicos (ver Figura No. 23) y por lo tanto de menor exactitud, para aplicaciones en robótica y reconocimiento automático de patrones, se pueden observar los siguientes casos comunes entre fotogrametría y visión por computadora:

- Calibración de cámara.
- Visión estereoscópica.
- Reconstrucción 3D a partir de imágenes 2D.

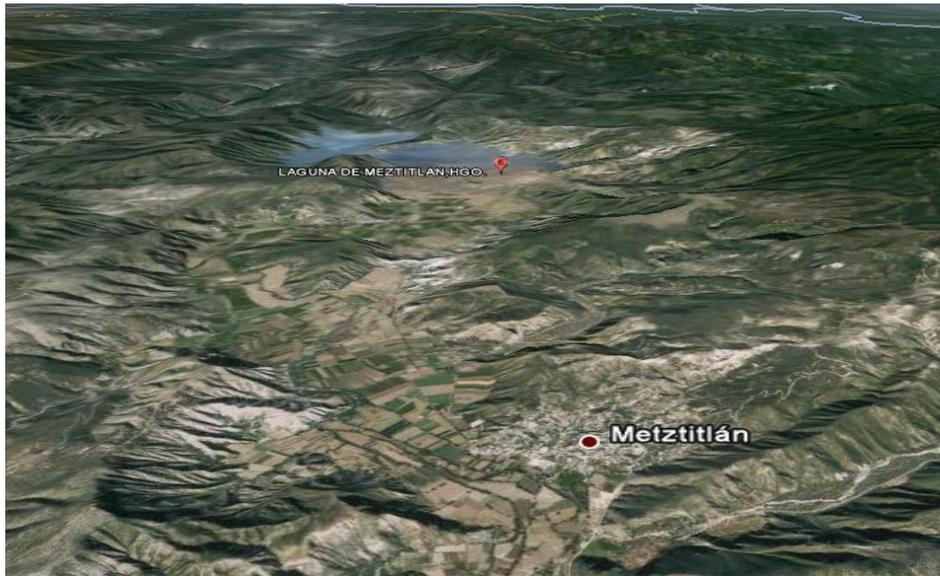


Figura No. 23.- Modelo 3D del terreno.

Otras disciplinas que tienen relación con la fotogrametría digital son:

-La teledetección o percepción remota, disciplina abocada principalmente a la identificación, clasificación y análisis de cuerpos y fenómenos que ocurren sobre la superficie terrestre, mediante el uso de imágenes digitales, generalmente tomadas desde satélites de observación de la Tierra. Este solape de actividades contribuye a enriquecer el desarrollo de ambas disciplinas, ya que pueden disponer de métodos alternos para la resolución de los problemas inherentes a su respectivo campo de aplicación (ver Figura No. 24).



Figura No. 24.- Imagen satelital de Sudamérica.

-Los sistemas de información geográfica, ya que estos sistemas son los principales receptores y procesadores de la información producida por la fotogrametría digital.

3.1.1. Percepción Remota

La Percepción Remota es una ciencia moderna que permite el estudio del territorio por medio del uso de imágenes satelitales. Éstas se obtienen básicamente de la energía o diferentes longitudes de ondas emitidas por los cuerpos, que son captadas por los sensores remotos montados en una plataforma, generalmente conocida como satélites artificiales.

El satélite artificial es un equipo o artefacto de fabricación humana, colocado en órbita alrededor de un cuerpo celeste, pudiendo ser un planeta o satélite natural (ver Figura No. 25). El primer satélite artificial fue el Sputnik I lanzado por la Ex - Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas el 4 de octubre de 1957.

Desde entonces se han puesto en órbita miles de satélites artificiales, destinados a muchos propósitos, como obtención de imágenes satelitales para estudios científicos del orden de la climatología, geodesia, geografía, geología, agronomía, medio ambiente, además de servir como transmisores para las señales GPS, o bien, transmitir microondas para la TV, celulares, teléfonos sateliticos, entre otras tantas aplicaciones.

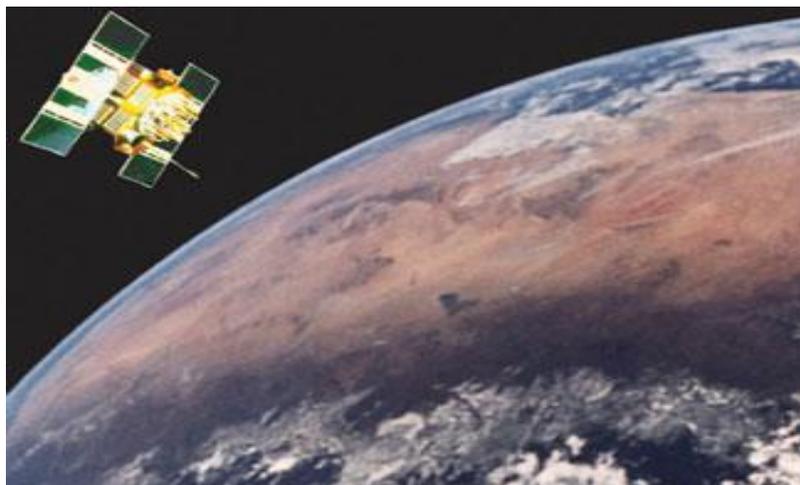


Figura No. 25.- Satélite artificial orbitando la Tierra.

La información remitida por el sensor remoto es enviada a modernos dispositivos computacionales que procesan la información cualitativa y cuantitativamente, distinguiendo diferentes rangos de ondas. Estos rangos representan diferente información del terreno, la que es graficada por medio de colores o texturas de blanco y negro. Esta graficación se denomina imagen satelital.

3.1.2. Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica o SIG, son sistemas informáticos, es decir, hardware, software, datos digitales y usuario, que capturan, almacenan, manipulan, procesan y visualizan la información espacial (ver Figura No. 26). Esta información debe encontrarse georreferenciada, lo que significa que debe poseer coordenadas geográficas (latitud y longitud) que permitan graficarla en mapas para poder consultarlas.

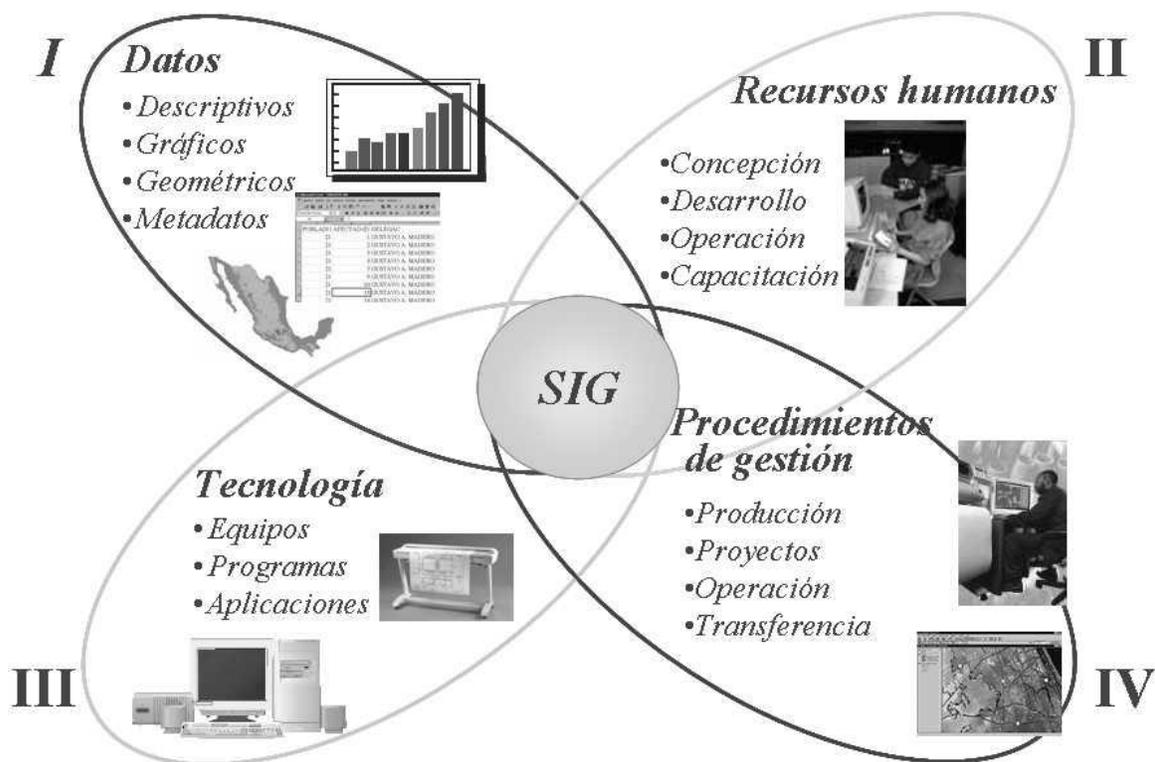


Figura No. 26.- Componentes de un SIG.

Los SIG manejan la información digital del terreno en capas o niveles, es decir, descomponen la realidad en distintos temas, como por ejemplo, relieve, hidrografía, vías de comunicación y otros. Por medio del uso de estos sistemas, el usuario puede combinar la información para crear mapas de síntesis o análisis, según su uso y requerimiento (ver Figura No. 27).¹⁵



Figura No. 27.- Capas de información en SIG.

Para un estudio del territorio, los SIG pueden entregar información de fenómenos geográficos diciendo qué existe, dónde se localiza, qué y cómo ha evolucionado y cómo se distribuye.

Los SIG constituyen una herramienta utilizada para la toma de decisiones, permitiendo al usuario decidir cómo manejar el territorio analizado, por medio del almacenamiento, procesamiento y análisis de la información.

3.1.3. Sistemas de Posicionamiento Global

El Sistema de Posicionamiento Global o GPS (Global Position System) es un sistema satelital que permite conocer con bastante exactitud las coordenadas geográficas de un punto sobre la superficie con una precisión hasta de centímetros, usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros

¹⁵ Bosque, J. (1999): *Sistema de Información Geográfica*. Madrid, España: Ediciones Rialp S.A.

(ver Figura No. 28). Fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América y puesto a disposición de los usuarios en 1978.

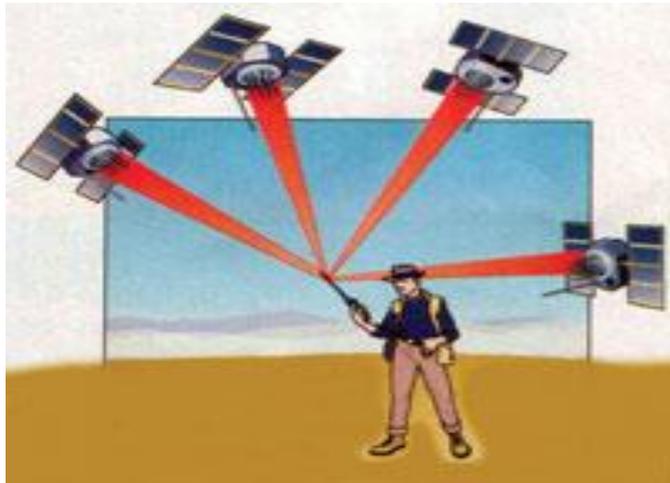


Figura No. 28.- Recepción de señal de satélite en navegador.

El receptor GPS es un instrumento electrónico que recibe señales de radio provenientes de la constelación NAVSTAR de 24 satélites que orbitan con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra (ver Figura No. 29).

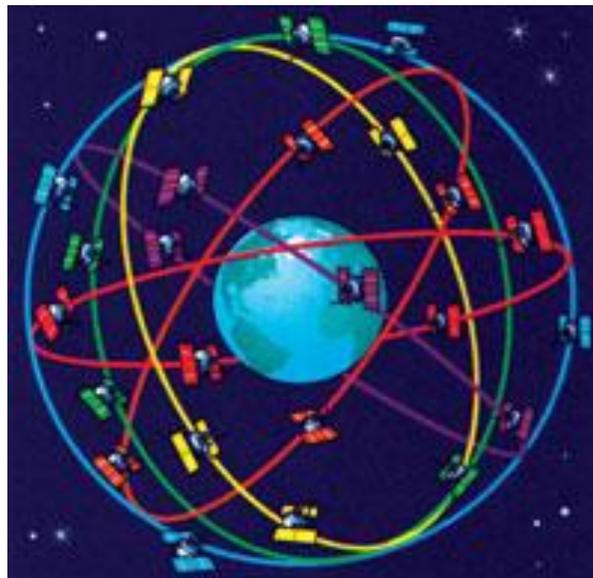


Figura No. 29.- Constelación de satélites NAVSTAR.

Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales; es decir, la distancia al satélite.

Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, a diferencia del caso 2-D que consiste en averiguar el ángulo respecto de puntos conocidos, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenada reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

3.2. Estaciones fotogramétricas digitales

Las estaciones fotogramétricas digitales principalmente están compuestas por una computadora tipo PC y una serie de dispositivos especiales, que permiten realizar las mismas funciones de un restituidor analítico pero en forma totalmente digital. Los principios geométricos de coplanaridad de rayos siguen estando vigentes para las orientaciones pero ahora a través de algoritmos de imagen epipolar. Se reemplazan las imágenes sobre film (negativo o positivo) por archivos digitales de imágenes raster, para lo cual es necesario disponer de un escáner fotogramétrico de alta resolución. Generalmente los sistemas de visión estereoscópica se basan en el método de anaglifos o de gafas activas LCD. La orientación del Modelo ahora es prácticamente automática y la gran cantidad de software disponible permite una actualización continua a bajo costo.

Los componentes básicos del hardware de un equipo de fotogrametría digital pueden apreciarse en la Figura No. 30. Los periféricos de entrada generalmente son un escáner fotogramétrico, CD ROM o cinta magnética que contienen datos imagen digitales y una cámara digital de buenas condiciones métricas que entrega directamente datos imagen digital. Los periféricos envían datos imagen a la Unidad Central de Proceso (CPU) que actúa como una estación de trabajo, la

CPU puede contar con un procesador Pentium y algún sistema Windows NT, además debe poseer un disco rígido de gran capacidad de almacenamiento y memoria RAM suficiente como para mover sin inconvenientes la gran cantidad de datos bits que genera una imagen digital. Conjuntamente con esto el equipo debe ser capaz de emular las capacidades de un estereorrestituidor analítico, por tanto tiene que disponer de un sistema de visión estereoscópico así como manivelas X, Y, y pedal Z para efectuar fácilmente la restitución, además de las aplicaciones Zoom, Move, estilóptico con control de tamaño variable, etc. Los periféricos de salida generalmente son un Plotter o impresora, pantalla video y capas de archivos digitales (Layers) que son las vituallas de un sistema de información geográfico (SIG).

Un sistema como este, en general está compuesto por:

- Monitor(es) de vídeo
- Dispositivo de visión estereoscópica – Anteojos con control infrarrojo, monitores especiales de alta velocidad de refresco, etc.
- CPU gráfica, o placa de vídeo especial, placa aceleradora
- CPU general
- Periféricos de Entrada/Salida – Teclado, Mouse, scanner, mesa digitalizadora, plotter y/o impresora.
- Dispositivo de medición estereoscópica – Trackball, topo-mouse, etc.
- Módulos de software dedicado las operaciones fotogramétricas, tales como: Orientación interior, orientación relativa y orientación absoluta, u orientación exterior (relativa + absoluta simultáneamente), aerotriangulación (medición y cálculo), restitución, rectificación y remuestreo de imágenes (geometría epipolar), extracción de modelos digitales (DTM) del terreno, generación de orto-imagen, integración con sistemas de información geográfica, etc.¹⁶

El patrón actual de monitores de vídeo para este tipo de aplicación se encuentra entre 19 e 21 pulgadas.

¹⁶ <http://www.nasa.gov>



Figura No. 30.- Componentes Básicos del Hardware de un Equipo de Fotogrametría Digital.

3.2.1. Productos que se obtienen con una Estación Fotogramétrica Digital:

- Procesamiento de imágenes.
- Generación automática de MDE (DTM).
- Ortofotos.
- Mosaicos de ortofotos y de ortofotomapas.
- Vistas en perspectiva.
- Vuelos simulados 2D/3D (Realidad Virtual).
- Procesamiento sensores remotos.
- Ortofotos Reales = EDIFICIOS VERTICALES.
- Interpolación de Curvas de Nivel.
- Curvas + Ortofotos ORTOFOTOMAPAS.

3.3. Fotogrametría arquitectónica

Podemos definir la Fotogrametría Arquitectónica como la técnica que permite restituir (reconstruir) la geometría y dimensiones de un objeto arquitectónico a través de un conjunto de fotografías tomadas del mismo.

En definitiva, consiste en un sistema que permite situar y medir puntos del objeto en sus coordenadas espaciales (X, Y, Z) mediante su determinación (marcando) en dos o más fotografías donde queden registrados. Básicamente, existen dos sistemas para realizar este tipo de restitución:

- Método estereoscópico
- Método de la intersección directa

3.1.1. Método estereoscópico

La restitución estereoscópica se basa en la introducción de dos fotos (de dirección paralela) del mismo objeto o terreno en un aparato restituidor que permite visualizar estereoscópicamente dicho objeto en relieve, y que dispone de unos mecanismos para situar un índice sobre cualquier punto del objeto virtual, calculándose automáticamente su posición en el espacio. Este sistema, se utiliza fundamentalmente para realizar planos de curvas de nivel sobre fotografías aéreas.

La gran ventaja de este sistema es que nos permite "marcar" puntos cualquiera de la superficie de un objeto (es el caso de modelar la superficie de una franja de terreno), y que se trabaja simultáneamente sobre, únicamente, dos fotografías.

Es un sistema muy preciso, obteniéndose rangos de error mínimos, pero requiere de unas cámaras especiales y aparatos muy costosos, además de la intervención de operadores especializados (ver Figura No.31).



Figura No. 31.- Restitución fotogramétrica del terreno.

3.3.2. Método por intersección directa

En este método, se utilizan las fotografías tomadas del objeto como si fuesen taquímetros virtuales. Es decir, cada punto marcado en una fotografía, supone una recta virtual que pasa por el centro del objetivo de la cámara y el punto señalado en la fotografía, deduciendo que obligadamente pasa también por el punto real del objeto. Al marcar el mismo punto en dos o más fotografías, todas las rectas deberán cortarse teóricamente en el espacio en un solo punto, que es precisamente el punto real del objeto. Las leyes de la perspectiva, permiten calcular las coordenadas reales de dicho punto (X, Y, Z) a través de las coordenadas fotográficas del punto en las fotografías (x_f, y_f):

Para realizar dicho cálculo, se necesita conocer una serie de datos, de forma idéntica al caso de operar con taquímetros:

- La situación y orientación relativa de cada cámara respecto del resto de cámaras y del objeto.

- La distancia focal de la cámara, tamaño de la película, y posición de la proyección del punto principal en la fotografía tomada.

Este sistema se utiliza en la actualidad mediante ordenadores, por la exactitud y rapidez del cálculo, lo que lo hace viable frente al método estereoscópico.

Aunque este método se basa en la definición de puntos, existe la posibilidad de registrar contornos de forma continua siempre y cuando todos sus puntos se sitúen en un único plano, previamente definido por tres o más puntos del objeto (esto permite "calcar" formas planas complejas, sin necesidad de definir cada uno de sus puntos, y además, hacerlo con una única fotografía).

La gran ventaja de este sistema respecto del estereoscópico es su gran sencillez y la asequibilidad del equipo necesaria (cámara digital convencional, un ordenador y el software de restitución). Los inconvenientes residen en la necesidad de marcar puntos del objeto bien definidos (como encuentros de aristas, marcas, etc.), lo que le hace un sistema adecuado para la restitución de objetos geométricos (edificios) aunque no para objetos de superficies irregulares (estatuas).

3.4. Nuevas tecnologías en la fotogrametría arquitectónica

El creciente aumento de la capacidad y velocidad de los ordenadores personales, así como sus cualidades gráficas, ha posibilitado el desarrollo de programas que permiten realizar la totalidad del proceso de restitución en tiempos y costos asequibles a cualquier profesional.

De igual forma, las cámaras necesarias para éste proceso, empiezan a ser más económicas, pudiéndose utilizar cámaras convencionales puesto que la peor calidad de lentes se compensa con la potencia de cálculo, y la calibración de las mismas se puede realizar con un ordenador.

Por todo esto, se hace muy interesante conocer esta técnica, que aunque data de hace bastantes años, empieza a ser ahora asequible e interesante para cualquier profesional dedicado a la rehabilitación o restauración arquitectónicas.

Básicamente se proponen dos sistemas o metodologías para el levantamiento de planos de objetos arquitectónicos a través de la fotogrametría:

- Modelo tridimensional a través de puntos y líneas
- Ortofotos.

El primero de ellos consiste en restituir los puntos del objeto a través de las fotografías tomadas, que previamente se digitalizan para poder operar con ellas desde el ordenador.

De la misma forma que se describía antes, se trata de marcar puntos homólogos del objeto en dos o más fotografías, con lo que el ordenador calcula automáticamente sus coordenadas espaciales.

El programa pone a nuestra disposición una serie de herramientas que permiten dibujar líneas entre los puntos marcados, materializar superficies discretas entre tres puntos definidos, medir distancias y superficies reales, etc.

Posteriormente, una vez terminada la restitución, el programa dispone de módulos para la exportación de los datos a los diferentes formatos utilizados en los programas de CAD más usuales.

La gran potencia de cálculo de los ordenadores, permite la orientación automática y posicionamiento respecto del objeto de las cámaras, sin más que identificar una serie de puntos homólogos en al menos tres fotografías. Esto es de suma importancia, pues permite que el trabajo de campo se reduzca exclusivamente a tomar las fotografías y a tomar una medida entre dos puntos conocidos, a efectos

de proporcionar posteriormente una escala correcta al modelo 3D, todo ello sin necesidad de apoyo topográfico.

Una vez importado el modelo 3D en un programa de CAD, podemos rotarlo, escalarlo, y, sobre todo, proyectar su información en los planos principales para obtener los planos acotados del objeto.

El segundo sistema, las ortofotos, consiste en un proceso automático mediante el cual el ordenador produce una fotografía del objeto en proyección ortogonal. En definitiva, consiste en obtener fotografías de cada plano del objeto en su dimensión real, de tal forma que se puede considerar como una fotografía de alzado, permitiendo calcar directamente cualquier contorno o forma situado en dicho plano sin necesidad de definir puntos intermedios (esto facilita tremendamente el levantamiento de fachadas con despieces de mamposterías, sin necesidad de recurrir a definir todos los puntos de las mismas).

3.4.1. Características y ventajas de la restitución digital

En resumen, las ventajas que se derivan de las nuevas tecnologías aplicadas a la técnica de la restitución fotogramétrica son:

- Toma de datos sencilla y rápida (no necesita de apoyo topográfico).
- Exactitud de todo lo registrado (a mayor número de fotos, mayor precisión).
- No es necesario volver al lugar para toma de datos complementaria.
- Trabajo de restitución sencillo y rápido.
- Proceso de restitución en tantas fases como se quiera (las fotografías digitalizadas no se deforman ni pierden calidad).

- Posibilidad de restituir el objeto con varias personas trabajando simultáneamente en el mismo objeto.
- Catalogación perfecta del objeto sin necesidad de restituirlo.
- Programas de restitución asequibles tanto económicamente como en su dificultad de utilización.

En el campo de la rehabilitación, hay que resaltar la gran fidelidad de los planos obtenidos, que permiten detectar fácilmente deformaciones en el edificio que difícilmente podrían ser detectadas de otro modo.

3.5. Metodología de trabajo

3.5.1. Trabajo de campo: planificación del trabajo y toma de fotografías

Si bien la restitución fotogramétrica reduce drásticamente los tiempos de trabajo de campo en las tomas de datos, también es verdad que se hace necesaria una buena planificación del trabajo para evitar errores posteriores.

3.5.1.1. Planificación de la toma de fotografías

Existen a grandes rasgos dos métodos para realizar las fotografías de un edificio con el objeto de restituirlo:

- Por un lado, y sin necesidad de planificar el recorrido, se trata de tomar el mayor número de fotografías posible del mismo. La idea es que así nos aseguraremos de poder seleccionar posteriormente aquellas fotografías realmente necesarias para la restitución del edificio, y para que, en fases posteriores del trabajo poder estudiar partes del edificio con más detalle, incorporando fotografías no utilizadas. Este método es recomendable cuando disponemos de poca o ninguna información previa o, sencillamente, no se dispone de tiempo suficiente para planificar el trabajo.

- El otro método se basa en una planificación rigurosa de cada fotografía. Para ello se recomienda obtener el plano catastral de la zona y algunas fotografías previas. Con este material realizaremos un croquis en planta donde anotaremos los posibles obstáculos para fotografiar todas las fachadas, y así planificar la posición de cada una de las fotografías.

Con este método reducimos el tiempo de fotografía (muy aconsejable en zonas urbanas con tráfico denso y muchos peatones) y el posterior de restitución al trabajar con menor número de fotografías.

Lo más aconsejable es combinar los dos métodos, es decir, comenzar con una buena planificación y las fotografías mínimas que resulten de ese estudio, para, finalmente, realizar un reportaje intensivo de fotografías que posiblemente se necesitarán en un futuro y que no representan un costo mayor (sobre todo en fotografía digital).¹⁷

3.5.1.2. Normas básicas en la toma de fotografías

Es siempre la fase más delicada (y determinante) de todo el proceso, pues de una correcta serie de fotografías dependerá no solo la precisión final de la restitución, sino el número de puntos que podrán ser restituidos.

Los factores a tomar en cuenta a la hora de fotografiar un edificio son:

- Todos los puntos que se desee restituir deberán estar en -al menos- dos fotografías consecutivas, para (como ya se explicó) que

¹⁷ D. Mario Docci. (1994). *Manual de levantamiento Arquitectónico y Urbano*. Maestría-Roma: Laterza.

sea posible su restitución. Para obtener una alta precisión, es recomendable restituir los puntos con tres u más fotografías.

- El ángulo formado entre dos fotografías consecutivas deberá aproximarse lo máximo posible a 90 o para obtener la mejor precisión de intersección. Esto implica buscar puntos de vista lo más abiertos posible, lo que a veces se soluciona fotografiando el edificio desde una misma posición en planta, pero a dos alturas diferentes.
- Hay que poner especial cuidado en evitar los obstáculos que interfieran la fotografía, como son árboles, coches, farolas, etc. (los árboles suelen ser el peor "enemigo" de esta técnica).
- También es decisiva la calidad de la fotografía, es decir, el contraste, nitidez y definición de la imagen obtenida, para permitir identificar y marcar con suficiente precisión los puntos que se van a restituir.

A ciertas horas del día, la fotografía de un edificio con una fachada orientada al sol suele producir imágenes muy contrastadas que bien hace invisible la fachada en sombra o, por el contrario, la fachada soleada aparece blanca por efecto de una sobreexposición. Por ello es aconsejable planificar la sesión en horas de poco contraste (de hecho, los días nublados son idóneos).

En cuanto a la resolución (definición) de la fotografía, decir que parte de la precisión final obtenida depende de la definición de la imagen digitalizada. Esta definición se mide en el número de PIXELS o puntos de imagen, valor obtenido de multiplicar el número de píxeles horizontales por los verticales (una buena resolución está por encima de los 3 millones de píxeles).

3.5.2. Proceso de restitución

Una vez realizado el trabajo de campo (toma de fotografías, croquis y mediciones necesarias), podemos comenzar el proceso de restitución en la oficina, siendo para ello necesaria una planificación previa, sobre todo si el trabajo se va a realizar en equipo.

El proceso (independientemente del sistema elegido) es siempre el mismo: primero procederemos a "orientar" las fotografías, y, en consecuencia, definir el modelo matemático de transformación de coordenadas-fotografía a coordenadas X, Y, Z del modelo 3D, lo que se realiza de forma casi automática.

Posteriormente, podemos restituir la geometría (puntos y líneas) del edificio y obtener los planos del mismo.

3.5.2.1. Programación del trabajo

En la mayor parte de los casos, se hace necesaria una subdivisión del trabajo de restitución de la geometría del edificio, bien debido al tamaño de éste, que obliga a partirlo en "trozos" que posteriormente se unirán, o bien debido a que dicha tarea se va a realizar entre varias personas.

Otro de los motivos puede ser la división del trabajo en una restitución de la geometría fundamental del edificio y un estudio detallado de cada una de las partes singulares (huecos, cornisas, torreones, adornos, etc.), que, posteriormente, se incluirán en la geometría global.

Para ello debemos seleccionar y agrupar las fotografías que se utilizarán en cada grupo de trabajo, y mediante croquis definir cada parcela de dibujo de tal forma que no se restituya dos veces lo mismo, a la vez que debemos asegurar la restitución de al menos 3 puntos comunes y no colineales entre grupos, para,

posteriormente, poder unificar todos los trabajos parciales en un único modelo 3D Y sistema de coordenadas.

También es aquí cuando hay que decidir el método de trabajo a seguir, puesto que la restitución fotogramétrica permite tanto generar directamente el modelo 3D, como servir únicamente de instrumento de medida y apoyo a un programa de CAD.

3.5.2.1.1. Sistema de medida 3D

Este sistema es mucho más sencillo, y quizá el más adecuado en la mayoría de los trabajos asociados al levantamiento de planos de edificios.

Se trata de dibujar los planos del edificio directamente en un programa de CAD (siguiendo unos croquis previos), de los cuales conocemos la forma y proporción, pero no las medidas exactas. Para ello tendremos abierta una ventana con el programa de restitución, que nos permitirá realizar aquellas medidas puntuales necesarias para completar nuestro dibujo (por ejemplo la posición, alto y ancho de una puerta). Lógicamente, tendremos que aceptar unos mínimos márgenes de error al considerar de antemano que elementos "casi iguales" se representan como idénticos, aunque seamos conscientes de que no lo sean en realidad.

No obstante, no se debe elegir un único sistema, sino que hay que diseñar un método de trabajo adecuado a nuestro edificio, que casi siempre combinará ambos sistemas en mayor o menor proporción.

3.5.2.2. Calibración de la cámara

Este proceso se realiza una sola vez con cada cámara utilizada, o mejor dicho, con cada combinación de cámara-objetivo utilizadas. Si se trabaja con cámaras

convencionales, también se calibrará el escáner utilizado para digitalizar las fotografías (en realidad, cada combinación cámara-objetivo-escáner utilizados).

El motivo de este proceso previo es la necesidad de determinar (de forma automática) las características físicas propias de cada cámara:

- Distancia focal
- Dimensiones $i'LV$ de la imagen (en mm y en píxeles)
- Posición del punto principal (proyección eje óptico en la imagen)
- Aberraciones de la/s lente/s (distorsión de la imagen respecto de una perspectiva)

Con estos parámetros intrínsecos de cada cámara (dos cámaras idénticas variarán seguramente en su calibración), el programa será capaz de formular el modelo matemático que servirá para realizar la intersección directa.

3.5.2.3. Orientación de las fotografías

Como se comentó anteriormente, dicho proceso servirá para definir la posición y orientación exacta de la cámara cuando se tomó cada una de las fotografías. Además, con ello definiremos la escala del modelo 3D y su posición (y orientación) respecto al plano horizontal real.

Pero lo más importante es que enlazamos así todas las fotografías, de tal forma que los puntos que se restituyan en cada par de fotos, quedarán automáticamente situados en un único modelo 3D, y, en consecuencia, con su correcta posición relativa en el espacio. Las condiciones mínimas para que el programa pueda calcular el modelo matemático son:

- Una fotografía se puede "orientar" en el modelo si tiene referenciados al menos 6 puntos de control
- Cada "punto de control" debe estar marcado en al menos 2 fotografías convergentes.
- Para conseguir un nivel mínimo de precisión, las dos fotografías que definan pares de puntos de control, deberán mantener un ángulo suficientemente abierto.

Una vez orientadas las fotografías, procedemos a posicionar el modelo en el espacio y dotarlo de escala real. Para ello utilizaremos una distancia tomada in situ entre dos puntos de control (lo mas distanciados posible), y la orientación de una línea horizontal entre dos puntos de control existentes, que en su día fueron definidos mediante un nivel (óptico o de agua). Para la orientación en el plano horizontal, normalmente se asocia el plano vertical XZ al plano de fachada principal, aunque esto no es relevante.

En este punto, podemos afirmar que el edificio ya está potencialmente restituido, pues la precisión y rigor del resultado final de la restitución ya están definidos y controlados.

3.5.2.4. Restitución de la geometría

Esta técnica de levantamiento de planos permite el trabajo simultáneo de varias personas, de tal forma que cada una de ellas se hará cargo de aquellas fotografías (ya orientadas) que abarquen la zona del edificio asignada. El sistema a partir de aquí es muy sencillo: marcaremos y referenciamos en dos o más fotografías cada punto que defina la geometría que se desee representar en planos. Finalmente, la suma de cada parte restituida formará los planos (alzados) completos del edificio.

Para ello, el programa pone a nuestra disposición una serie de herramientas que permiten no sólo acelerar este trabajo, sino definir geometrías que sería imposible definir a través de puntos visibles en las fotos, como son ejes o líneas definidas por puntos diferentes en cada foto, curvas tipo NURBS, y cilindros (por eje y diámetro). Además, podremos definir superficies (discretizadas en triángulos), útiles para crear un modelo sólido 3D.

Otra de las herramientas que nos proporciona el programa es la de calcar líneas en un mismo plano definiendo sus puntos en una sola foto. Para ello se indicará previamente el plano que contiene dicha geometría (esto es muy útil para dibujar despieces de sillerías y figuras en general que estén en un plano).

Finalmente, podemos exportar el conjunto de puntos, curvas y líneas a un programa de CAD. Esto se puede realizar de dos formas:

- Exportar el modelo 3D completo.
- Exportar la geometría plana 2D (o parte de ella) proyectada en un plano determinado (planta, alzados, etc.).

Ya en el programa de CAD, se pueden completar los planos, incorporar texto, cotas, tramados, etc., y maquetarlos para su presentación.

CAPITULO IV

RIESGO

GEOLOGICO

Los accidentes naturales asociados a procesos geológicos han sido descritos desde tiempos remotos. Las grandes catástrofes mitológicas como el “diluvio universal” de la leyenda bíblica de Noé, basada en registros babilonios de 2.600 años A.C. (Hennig, 1950 en Ayala Carcedo, 1987), han sido científicamente interpretadas como catástrofes geológicas.

La erupción volcánica del Vesubio, en Italia, en el 79 A.C., que sepultó la ciudad de Pompeya con una lluvia de cenizas volcánicas y arrasó a Herculano con una emanación de lava, es otra catástrofe famosa de naturaleza geológica registrada en la historia antigua. Acontecimientos recientes como el lahar del Volcán Nevado del Ruiz en Colombia, que en 1985 extinguió la vida de alrededor de 23.000 personas y el terremoto en Armenia en 1988, causando cerca de 25.000 muertes, demuestran que diversas poblaciones son vulnerables a la ocurrencia de catástrofes.

4.1. Los accidentes naturales desde el punto de vista socioeconómico

Estudios basados en registros de los accidentes naturales producidos a lo largo de todo el siglo XX, estiman que casi 4 millones de personas murieron como consecuencia de desastres naturales, siendo el 83% del total de víctimas se debió a accidentes de naturaleza geológica (Committee for Disaster Research of the Science Council of Japan, 1989). Estimaciones de la Agencia de Coordinación de las Naciones Unidas para el Socorro de Desastres (Office of United Nations Disaster Relief Coordinator – UNDRO) señalan también que los daños se concentran en las últimas dos décadas, cuando los accidentes naturales habían matado casi 3 millones de personas, afectado adversamente la vida de otros 800 millones y, provocado daños inmediatos superiores a los US\$ 23 mil millones (UNDRO, 1988); Ver Figura No. 32.



Figura No.32.- Ejemplo de un riesgo geológico.

4.2. Conceptos y fundamentos básicos

El área de Riesgos Geológicos utiliza el conocimiento de los procesos de naturaleza geológica para la prevención de accidentes, y se caracteriza también por abarcar conceptos, métodos y técnicas de análisis y administración de riesgo relacionados con otras ramas profesionales ligadas al área industrial, defensa civil y compañía de seguros. Los términos de uso corriente como peligro, riesgo y amenaza, utilizados muchas veces como sinónimos, necesitan en los estudios de prevención de accidentes, de definiciones de criterios:

- a) peligro (hazard): amenaza potencial a personas y/o bienes;
- b) riesgo (risk): posibilidad que eventos peligrosos produzcan consecuencias indeseables. Es el peligro presentado, mejor evaluado, es decir, es una pérdida potencial evaluada;
- c) evento geológico (geological event): acontecimiento, fenómeno o proceso geológico.

El análisis de las definiciones, presentadas para los términos antes expresados permite algunas consideraciones:

- a) un fenómeno atmosférico como el tifón, que se produce en épocas conocidas y localización geográfica según rutas previsibles, es un peligro, una amenaza potencial a personas y/o bienes. Si el desarrollo del tifón sigue una ruta o curso en dirección a una localidad poblada, tendremos una situación de riesgo, es decir, la posibilidad de daños sociales y/o económicos debidos a esta condición atmosférica;
- b) si el tifón no pasa sobre la localidad poblada, será apenas un evento natural, o un proceso que haya ocurrido sin provocar consecuencias sociales y/o económicas. No obstante, si el tifón alcanzara el área habitada, provocando daños materiales y/o víctimas, será considerado un accidente natural.

Comúnmente existe una diferenciación entre accidente, desastre y catástrofe dependiendo de la magnitud de los daños. Los términos peligro y riesgo son normalmente utilizados por la Ingeniería de Riesgos, que emplea dos tipos básicos de técnicas de análisis que nos permitan salvaguardar la vida de sus habitantes o bien los inmuebles así como el recurso hídrico, de suelo, forestal, agrícola y de la fauna.

El Análisis de Peligros (Hazard Evaluation) es una técnica de naturaleza predictiva que identifica los tipos de eventos peligrosos, determina la frecuencia de tales eventos y define las condiciones espaciales y temporales de su ocurrencia.

El Análisis de Riesgos (Risk Analysis) es una técnica que, a partir del análisis de peligros, trata de cuantificar las informaciones, correlacionando la probabilidad de

ocurrencia de eventos peligrosos con la probabilidad de consecuencias indeseables, estimándose los daños y realizándose estudios de vulnerabilidad.¹⁸

La ecuación básica de riesgo por lo tanto (Formula No. 1), considera dos parámetros principales: la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y las pérdidas socioeconómicas asociadas. De este modo, para el análisis de riesgo tenemos:

$$R = F \times C \dots\dots\dots 1$$

Donde:

R = riesgo

F = frecuencia de ocurrencia

C = consecuencia

En nuestro caso tenemos que la frecuencia es del 60% de ocurrencia y la consecuencia es del 50% por lo que tenemos que el riesgo potencial es del orden del 20 al 30% del riesgo.

Se han presentado otras formulas para la cuantificación de riesgos asociados a procesos naturales (Formula No. 2). Ayala y Peña (1989) en Cerri (1993) emplean, en trabajos realizados en España, la expresión indicada a continuación, a la que denominan riesgo o nivel de riesgo:

$$R = P \times v \times V \dots\dots\dots 2$$

Donde:

R = riesgo o nivel de riesgo

P = probabilidad; donde $P = 1/T$ siendo T =recurrencia o periodicidad del evento

¹⁸ Ayala, F. J. (1987). *Introducción a los Riesgos Geológicos*. v.1, p. 3-21. En: Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

v = vulnerabilidad (lo que se admite perder, de un determinado valor, en un accidente)

V = valor del bien vulnerable.

En nuestro caso se tiene que la ocurrencia de un fenómeno es del orden del 30% y la vulnerabilidad se estima del orden del 50% por lo que el riesgo es considerable ya que daña las construcciones y pone en peligro la vida de sus moradores.

4.2.1. Concepto de Riesgos Geológicos

Los riesgos geológicos pueden ser entendidos como una circunstancia o situación de peligro, perdida o daño, social y económico, debida a una condición geológica o a una posibilidad de ocurrencia de proceso geológico, inducido o no. Ayala Carcedo (1987) entiende riesgo geológico como: “Todo proceso, situación u ocurrencia en el medio geológico, natural, inducida o mixta, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad, y en cuya previsión, prevención o corrección se emplearan criterios geológicos”.

También los podemos definir como aquellos procesos, eventos o situaciones que tienen lugar en el medio geológico y que pueden producir daños o perjuicios a aquellas comunidades que estén ocupando zonas vulnerables del territorio. Los procesos pueden ser, según la fuente de energía que los genera, internos o externos. A su vez, según la velocidad en que se desarrollan, éstos pueden ser rápidos, como terremotos, inundaciones relámpago y erupciones volcánicas; o lentos como las inundaciones de grandes ríos de llanura o la subsidencia.

Pueden afectar sectores relativamente puntuales, como una avalancha de rocas o un deslizamiento, o afectar a grandes regiones como las inundaciones.

Los riesgos geológicos forman parte de un conjunto amplio de riesgos, que estarían englobados entre los riesgos ambientales, y agrupados en clases, según su origen. A grosso modo, los riesgos ambientales pueden separarse en dos tipos: los de origen natural y los de origen tecnológico.

Existen otros tipos de riesgos, como las guerras, las revueltas sociales, de carácter predominantemente socio-político, que pueden ser diferenciados en otro grupo; o tal vez, reunidos con los tecnológicos, formando una clase de riesgos antrópicos (originado por la actividad humana).

Los riesgos geológicos pueden ser subdivididos, de acuerdo a la naturaleza de los procesos, en dos tipos: los endógenos y los exógenos. Los riesgos geológicos endógenos son aquellos relacionados a la dinámica interna del planeta, como los terremotos, erupciones volcánicas, maremotos. Los riesgos geológicos exógenos son los asociados a los procesos que se producen en la superficie de la tierra, como los deslizamientos y la erosión. (Ver Tabla No. 2).¹⁹

¹⁹ Ogura, Agostinho y Soares, Eduardo (2000). *Procesos y Riesgos Geológicos*. Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Sao Paulo, Brasil: Investigadores División de Geología Instituto de Investigaciones Tecnológicas de São Paulo- IPT.

RIESGOS GEOLÓGICOS ENDÓGENOS		RIESGOS GEOLÓGICOS EXÓGENOS		
SISMICOS	VOLCÁNICOS	ATMOSFÉRICOS HIDROLÓGICOS	COSMICOS	OTROS RIESGOS
Terremotos	Volcanes	Tormentas		
	Tipos de erupciones	Granizo		
	Lo que escupen los volcanes:	Ciclones y Huracanes		Suelos expansivos
Volcanes	Lavas	Tornados		Deslizamientos de tierras
Licuefacción o licuación	Bombas, ceniza, lapilli	Incendios naturales	Impacto de meteoritos	Desprendimiento de rocas
	Gases	Inundación costera		Aludes de nieve
	Tipos de edificios volcánicos y otras manifestaciones	Desbordamientos de los ríos y sus cauces		Hundimiento de tierras
	Peligros de los volcanes	Erosión y sedimentación		
		Salinización		
		Desertificación y sequía		

Tabla No. 2.- Clasificación de los riesgos.

4.2.2 Fundamentos Básicos

Los avances alcanzados en la comprensión de los procesos geológicos, hizo posible el desarrollo de medidas de atenuación de accidentes.

Dos capítulos se presentan como fundamentos del área de riesgos geológico:

- a) previsión: la previsibilidad de la ocurrencia de procesos geológicos, o sea, tanto la posibilidad de identificación de áreas de riesgo con la indicación de los lugares donde podrán producirse

accidentes/eventos geológicos (definición espacial, como el establecimiento de las condiciones y circunstancias para la ocurrencia de los procesos (definición temporal). El instrumento básico de la previsión espacial es la Cartografía de Riesgos;

b) prevención: la consecuente posibilidad de adoptar medidas preventivas teniendo por finalidad, o inhibir la ocurrencia de los procesos geológicos, o reducir sus magnitudes, o quizás, atenuar sus impactos, actuando directamente sobre las edificaciones y/o la propia población.

Hay que considerar sin embargo, que el grado de previsibilidad espacial (¿dónde se producen?) como principalmente temporal (¿cuándo se producen?) de un evento de naturaleza geológica depende del tipo de fenómeno considerado, teniendo en cuenta las características, mecanismos y factores condicionantes y deflagradores de un determinado proceso.

En este sentido, Brabb (1991) afirma que los deslizamientos son generalmente más controlables y previsibles que los terremotos, las erupciones volcánicas y algunas tempestades, pero pocos países han aprovechado el conocimiento existente para reducir los accidentes de deslizamientos.

4.3. Prevención de accidentes geológicos

Un método para enfrentar los accidentes naturales, ha sido propuesto por la UNDRO (1991), y se basa en dos componentes de actividades: las actividades de prevención (Prevention) y preparación (Preparedness).

Las actividades de prevención son aquellas dirigidas a la determinación de la naturaleza técnico-científica de un fenómeno que puede provocar desastres, y al establecimiento de las medidas que posibiliten dar protección a la población y a

los bienes materiales contra sus impactos. Las actividades de prevención comprenderían así la mecánica de los procesos, los estudios de análisis de riesgos y la formulación de métodos, técnicas y acciones de prevención de desastres. Las actividades de preparación se entienden como las de carácter logístico para el enfrentamiento de situaciones de emergencias más ligadas a las actividades de defensa civil, donde se trata de determinar principalmente, como una determinada población en un área de riesgo debe ser evacuada y/o protegida cuando un accidente es inminente, o luego que acontezca.

De acuerdo con esta línea de enfoque (Augusto Filho et al., 1991) los Programas de Mitigación de Desastres de la UNDRR, incluyen una secuencia de actividades de prevención y preparación como las detalladas a continuación:

- a) identificación de los riesgos (hazard evaluation);
- b) análisis de riesgo (risk analysis);
- c) definición de medidas de prevención de accidentes (disaster prevention measures);
- d) planificación para situaciones de emergencia (emergency planning);
- e) informaciones públicas y entrenamiento (public information and training).

Los tres primeros capítulos se refieren a las actividades de prevención, siendo básicamente los estudios asociados a peligros, riesgos, y definición de las medidas de prevención de accidentes. Los dos últimos ítem se refieren a las actividades de preparación.

CAPITULO V

DESLIZAMIENTOS

El Estado de Hidalgo por su ubicación geográfica se caracteriza por un marcado contraste de formas de relieve, es debido a esta característica que en la zona que comprende la sierra, y debido entre otras causas a los procesos de deforestación, los deslizamientos de suelo han adquirido una especial importancia, toda vez que estos eventos son cada vez más frecuentes. Se cuenta con registros de deslizamientos de suelo en los municipios de Juárez Hidalgo, Metztitlán, Xochicoatlán, Molango, Chapulhuacán, Huejutla, San Agustín Metzquitlán y Huehuetla; los eventos de mayor importancia de este tipo son los ocurridos en el municipio de Metztitlán, nuestra área de estudio, en donde derivado de los efectos que ocasionaron fue necesario reubicar a la población que se encontraba en alto riesgo.

Hace muchos miles de años, Metztitlán era un profundo cañón que formaba parte de la cuenca del río Pánuco, hasta que un día las convulsiones telúricas provocaron un derrumbe que cerró el paso a la corriente y creó un enorme lago. Siglo con siglo, las aguas fueron bajando de nivel mientras el río seguía arrastrando materiales con gran contenido orgánico, llegando a formar el suelo fecundo de una barranca. Hoy todo es fertilidad envidiable en sus tierras irrigadas por un río caprichoso que a veces lo inunda todo, entre huertas de frutales y campos agrícolas anualmente verdes.

Sus montañas cortadas a tajo son auténticas cátedras de geología al aire libre, donde se puede aprender qué es un plegamiento, una fractura, un anticlinal o sinclinal, a todo color y en tercera dimensión. En la atmósfera hay una gran luminosidad durante el día y una brillantez inusitada en noches de plenilunio, capaz de hacer innecesario el alumbrado público.

5.1. Falla Geológica

Una falla geológica la podemos describir como una rotura en las rocas a lo largo de la cual ha tenido lugar un movimiento. Este movimiento se llama desplazamiento. El origen de estos movimientos son fuerzas tectónicas en la corteza terrestre, las cuales provocan roturas en la litosfera. Las fuerzas tectónicas tienen su origen principalmente en el movimiento de los continentes.

Las Fallas tectónicas se pueden clasificar por su orientación y simetría. La gran mayoría de las fallas son verticales o casi ("sub") verticales. Es decir tienen manteos entre 90° y 45°. El desplazamiento puede ser vertical, horizontal u oblicuo. Normalmente se trata de desplazamientos verticales u horizontales (ver Tabla No.3).²⁰

Fallas verticales - sub verticales					
<u>Fallas con desplazamiento vertical</u>				<u>Falla con desplazamiento horizontal</u> <u>Fallas de rumbo</u>	
<u>Fallas normales</u>		<u>Fallas inversas</u>		<u>sentido sinistral</u>	<u>sentido dextral</u>
<u>Normal homotética</u>	<u>Normal antitética</u>	<u>Inversa homotética</u>	<u>Inversa antitética</u>		

Tabla No. 3.- Fallas verticales – sub verticales.

5.1.1. Fallas con desplazamiento vertical

Entre el grupo de las fallas verticales se puede distinguir fallas normales y fallas inversas. Las fallas normales son un producto de fuerzas extensionales, mientras

²⁰ Carrasco, B. (1969). *Petrografía y Facies de la Secuencia transgresiva regresiva de las Formaciones del Cretácico Inferior y Medio en Metztitlan, Hgo.* Rev. Inst. Mex. Del Petróleo p.p. 24

que las fallas inversas son un producto de fuerzas de compresión. Como se aprecia en la siguiente Figura No. 33.

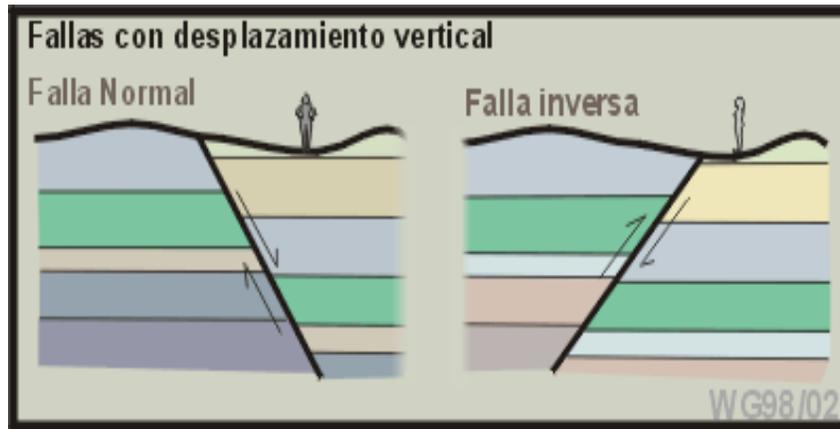


Figura No. 33.- Fallas normales – inversas.

Una forma de poder diferenciar entre una falla normal y una inversa: Es que una falla normal produce un "espacio", es decir se puede definir un sondaje vertical sin encontrar un piso (o techo) de referencia. Por el contrario a la falla inversa que produce una "duplicación", es decir se puede definir un sondaje vertical para encontrar el mismo piso (o techo) de referencia dos veces (ver Figura No. 34).

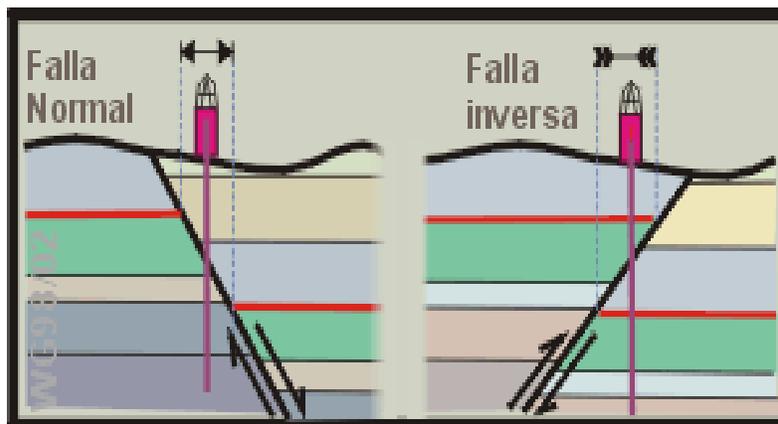


Figura No. 34.- Sondaje en los diferentes tipos de fallas.

5.1.1.1. Antitética-Homotética

En conjunto con falla normal y falla inversa se puede usar "antitética" y "homotética", respectivamente. La palabra antitética indica que la falla y los estratos se inclinan hacia las direcciones opuestas. Homotética significa, que los estratos y la falla tienen la misma dirección de inclinación (ver Figura No. 35).

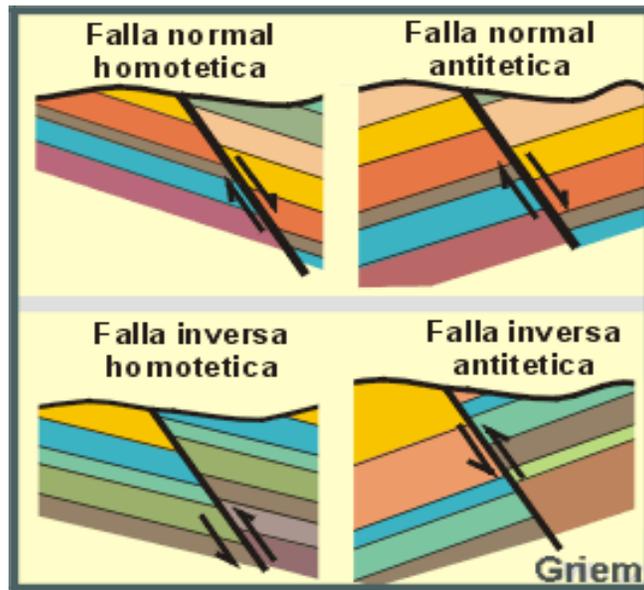


Figura No. 35.- Representación antitética – homotética.

5.1.2. Indicadores directos de fallas

Generalmente se puede diferenciar entre indicadores directos o indirectos de fallas de la siguiente manera; los indicadores directos manifiestan una falla cien por ciento, es decir sin duda alguna. Estos tipos de indicadores se puede observar directamente en terreno analizando la foliación en cuestión. Los indicadores indirectos definen una falla con una cierta cantidad de incertidumbres y dudas, lo cual no es al cien por ciento.

5.1.2.1. Desplazamiento

El desplazamiento de una unidad geológica u otra estructura geológica indica la actividad tectónica. Por lo tanto los desplazamientos tectónicos en el terreno marcan siempre una falla (ver Figura No. 36).

Se debe tener cuidado, ya que comúnmente se confunde con la estratificación normal, si las capas presentan una inclinación. O se puede equivocar con accidentes morfológicos o geoformas.

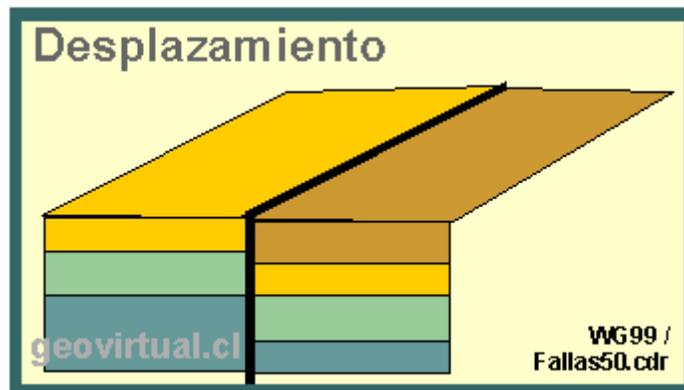


Figura No. 36.- Representación desplazamiento.

5.1.2.2. Estrías

Podemos definir las estrías como líneas finas arriba de un plano de falla. Estas líneas indican además la orientación del desplazamiento y posiblemente el sentido. (Véase Figura No. 37). Se encuentra en casi todos los lugares y el reconocimiento es fácil de apreciar.

Debemos tener cuidado con las estrías, ya que solo marcan el último movimiento cual posiblemente no coincide con el movimiento general. Para sentir con el dedo el sentido del movimiento cuesta y podemos equivocarnos.

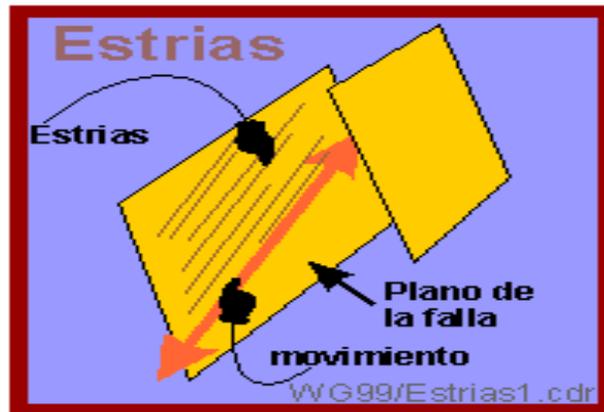


Figura No. 37.- Orientación y sentido del desplazamiento.

5.1.2.3. Diaclasas plumosas de cizalle

Durante un movimiento tectónico pueden presentarse pequeñas fracturas, las cuales se rellenan con calcita, yeso o cuarzo. (Véase Figura No. 38) La forma es siempre como una "S" y en dimensiones desde milímetros hasta metros.²¹

Este tipo de movimientos, no son tan frecuentes en la naturaleza.

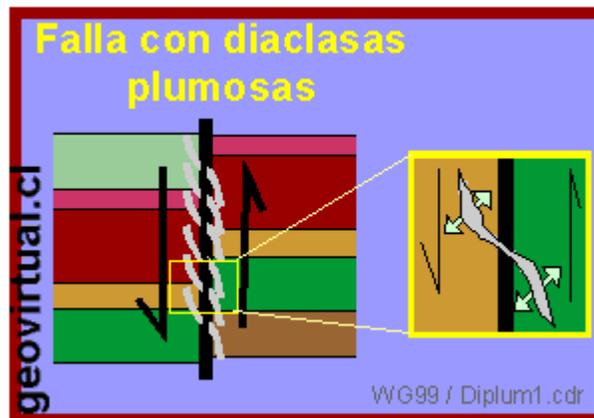


Figura No. 38.- Fallas con diaclasas plumosas.

²¹ <http://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/gestr04a.htm>

5.1.2.4. Arrastres

Cerca de una falla las rocas pueden deformarse plásticamente. Se puede observar un leve monoclinal hacia el plano de la falla. Las dimensiones varían entre centímetros y metros. Normalmente las fallas grandes suelen mostrar este fenómeno, (ver Figura No. 39).

Se debe tener cuidado con no equivocarse al confundirlas con estructuras sedimentarias como derrumbes.

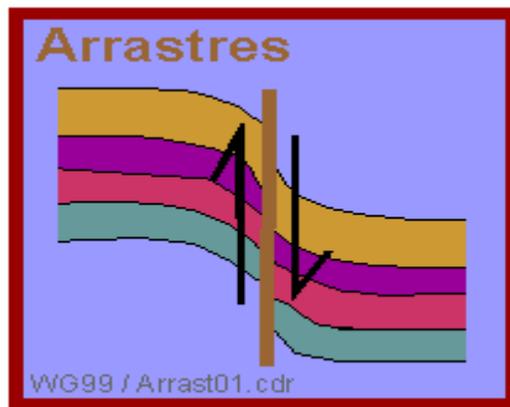


Figura No. 39.- Representación arrastre

6.2. Conceptualizaciones básicas y clasificaciones

Los procesos de transporte de materia sólida de nuestro planeta pueden ser subdivididos en movimientos gravitacionales de masa, definidos como todos aquellos que son inducidos por la aceleración gravitacional, y en movimientos de transporte de masa, donde el material movilizado es transportado por un medio cualquiera, como agua, hielo o aire (Hutchinson, 1968).

Los deslizamientos y procesos relacionados forman parte de la lista de los movimientos gravitacionales de masa, directamente referidos a la dinámica de las

laderas, distinguiéndose de las subsidencias y colapsos, pertenecientes también a este gran grupo.

Cruden (1990) propone una definición simple para deslizamientos, que está siendo empleada por el grupo de trabajo sobre el inventario mundial de estos procesos: “deslizamiento es un movimiento de roca, tierra y detritos ladera abajo”.

Las laderas pueden ser definidas como toda superficie natural inclinada uniendo otras dos, caracterizadas por diferentes energías potenciales gravitacionales (Stochalak, 1974). El término talud es más usado para definir laderas próximas a obras lineales, de minería, etc., poseyendo un carácter más geotécnico y relacionado a áreas limitadas. Se utilizan también: talud de corte, para taludes resultantes de algún proceso de excavación promovido por el hombre; y taludes artificiales, relacionados a las inclinaciones de rellenos, constituidas de materiales diversos (Wolle, 1980).

Existen innumerables clasificaciones de movimientos gravitacionales de masa asociados a las laderas o deslizamientos lato sensu. Algunos trabajos tratan de forma completa, los criterios, las restricciones, y otros aspectos importantes de estos sistemas clasificatorios. Brabb (1991) señala la clasificación propuesta por Varnes (1978) como una de las más utilizadas mundialmente, siendo considerada la clasificación oficial de la International Association of Engineering Geology and Environment - IAEG.

En este texto, la clasificación propuesta por Augusto Filho (1992) será adoptada como referencia general para la descripción de los principales movimientos de ladera. Esta clasificación propone cuatro grandes tipos de procesos: Arrastre (Creep), Deslizamiento (Slides), Caída (Falls) y Torrente (Flows). Cada uno de estos grandes grupos admite subdivisiones, principalmente los deslizamientos y

los torrentes, existiendo extensas clasificaciones y terminologías específicas para cada uno de ellos.²²

Para el análisis de los movimientos de inestabilidad de un talud o una ladera es de primordial importancia el reconocimiento de los factores que actúan como desencadenantes. Su conocimiento permitirá, además, definir las medidas necesarias para evitarlos o corregirlos.

La importancia del conocimiento de los deslizamientos nos permitirá dar la factibilidad técnica como puede ser el anclaje, el uso de mallas o de vegetación todo ello de acuerdo a la geología del talud.

Suele admitirse que los factores o las causas que producen la inestabilidad de taludes o laderas no se presentan de manera aislada, haciéndolo normalmente combinados (lluvias y sismo, excavación, lluvias y sismo).

La susceptibilidad de una masa de terreno a deslizar entendida esta palabra en su sentido más amplio y no como referencia al fenómeno de inestabilidad conocido como deslizamiento depende, básicamente, de los siguientes factores:

1. Geología y Tectónica. Si las fracturas ligadas a la tectónica tienen una inclinación desfavorable, aun en ausencia de agua, pueden producirse inestabilidades. Lo mismo se podría decir en relación con las fallas, la degradación que pueden sufrir los materiales situados en sus proximidades, es también una causa muy frecuente de producción de inestabilidades.

2. Geometría: Altura e inclinación.

²² Ogura, Agostinho y Soares, Eduardo (2000). *Procesos y Riesgos Geológicos*. Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Sao Paulo, Brasil: Investigadores División de Geología Instituto de Investigaciones Tecnológicas de São Paulo- IPT.

3. Sobrecargas puntuales o distribuidas en coronación de taludes o en laderas. Constituyen ejemplos típicos los rellenos, escombreras, acumulaciones de materiales en general, estructuras, etc. Estas sobrecargas producen un incremento de las tensiones de corte y de las presiones intersticiales en suelos de naturaleza arcillosa.

4. Cambios en el contenido de agua del suelo. La saturación de los materiales que constituyen una ladera natural o un talud después de un período de lluvias, implica un incremento de peso de la masa potencialmente inestable y una menor resistencia al corte.

5. Cambios en las condiciones de circulación de aguas profundas. La excavación de un talud puede dar lugar a unos elevados gradientes de circulación de las aguas subterráneas para adaptarse a las nuevas condiciones geométricas establecidas, y por lo tanto a una variación de las presiones intersticiales existentes.

6. Meteorización. Son muy numerosos los materiales que ante agentes físicos, químicos o atmosféricos sufren importantes transformaciones de comportamiento. En el caso de las rocas es bastante conocida en España la transformación del granito en Jabre.

7. Sacudidas sísmicas, voladuras y vibraciones. Los movimientos de tierra producidos por cualquiera de las causas anteriores, originan un cambio temporal del estado de esfuerzos existente en una masa de terreno que puede afectar a la estabilidad de la misma. En el caso de arenas finas saturadas es frecuente que se produzca el fenómeno de la licuefacción.

Hay que recalcar la gran importancia que tiene el agua en la estabilidad de un talud. Es quizá el principal agente desencadenante de gran número de

movimientos de inestabilidad, debido a la disminución de resistencia a que da lugar y al aumento de presiones intersticiales. La asociación entre movimientos y períodos lluviosos es ampliamente conocida en el mundo entero.

6.3. Dinámica y condicionantes

Los deslizamientos suceden por influencia de factores del medio ambiente (físico, biológico y social) específicos, que deben ser entendidos, a fin de que estos procesos puedan ser evitados. La identificación precisa de los factores responsables del movimiento, es fundamental para la adopción de las medidas correctivas o preventivas más acertadas desde el punto de vista técnico-económico. En muchos casos, la causa principal no puede ser removida, siendo, por eso, necesario reducir sus efectos de una forma continua o intermitentemente.

Las lluvias actúan como principal agente deflagrante de los deslizamientos en el contexto de la dinámica climática y geológica. Los grandes accidentes relacionados a estos procesos registrados en el territorio nacional se produjeron durante el período lluvioso, que varía de una región a otra.

La región tiene una precipitación anual considerable donde en épocas de lluvias la movilidad es mayor que en épocas de estiaje.

El hombre se está constituyendo en el más importante agente modificador de la dinámica de las laderas. El avance de las diversas formas de uso y ocupación del suelo en áreas naturalmente susceptibles a los movimientos gravitacionales de masa, acelera y amplía la inestabilización.

Por desconocimiento o por intereses personales edificamos donde no lo debemos realizar y tenemos que en el área de estudio los inmuebles están dañados por este deslizamiento lo que pone en riesgo.

En países en vías de desarrollo y con altas tasas de urbanización como México, la acción del hombre en la ocupación desordenada de cerros en las ciudades de mediano y gran tamaño, ha actuado como uno de los factores determinantes de la ocurrencia de accidentes de gran porte relacionados con deslizamientos. No obstante, en el análisis y control de los deslizamientos, principalmente en áreas urbanas, se debe reflexionar sobre las principales modificaciones en la dinámica de las laderas resultantes de las interferencias antrópicas, puesto que éstas son muchas veces las principales responsables por la deflagración de los procesos de inestabilización.

En el área de estudio la dinámica del movimiento se desarrolla en forma aleatoria ya que la velocidad del movimiento es lenta lo que a permitido a los pobladores tener una vida estable sin embargo tenemos un riesgo potencial ya que la velocidad de deslizamiento puede ser en un momento muy precipitada y en cualquier momento lo que no permitiría a los habitantes estar alerta y tener consecuencias fatales.

6.4. Análisis regionales y preventivos: cartas de Susceptibilidad a deslizamientos

El objetivo básico de estas cartas es la delimitación de zonas homogéneas en cuanto a la tipología, susceptibilidad y radio de alcance de los movimientos de masa en una determinada región, considerando las interrelaciones entre la dinámica de estos procesos y las diversas formas de uso y ocupación del suelo. Bitar et al. (1992) consideran la existencia de cuatro grandes tipos de cartas denominadas, genéricamente geotécnicas: dirigida; convencional; susceptibilidad; y riesgo.

La carta de susceptibilidad nos permite alertar en forma y tiempo a los moradores para su seguridad personal y/o de sus pertenencias.

6.5. Obras utilizadas en la estabilización de laderas y taludes

Existen una gran variedad de sistemas de contención y estabilización de taludes, utilizados a lo largo del tiempo, para tratar de resolver problemas de derrumbes o deslizamientos de grandes masas de terreno. En general podríamos plantear una clasificación en la que tuviéramos en cuenta cual es el objetivo de la intervención sobre el talud o la ladera.

Con relación a las obras de estabilización de laderas/taludes, el ingeniero geólogo debe tener conocimiento de sus principales tipos, de su forma de actuación y elaboración de proyectos con miras a la implantación o recuperación de obras civiles de porte (carreteras, vías férreas, grandes reservorios) en los estudios de impacto ambiental, etc. Ellas también pueden ser una de las líneas de investigación, o mapa temático, para la elaboración de las cartas geotécnicas convencionales y dirigidas, o de las cartas de riesgo geológico.

GRUPOS	TIPOS
Obras sin estructura de contención	<ul style="list-style-type: none">- Retaludamientos (corte y relleno)- Drenaje (superficial, subterráneo, de obras)- Protección superficial (naturales y artificiales)
Obras con estructura de contención	<ul style="list-style-type: none">- Muros de gravedad- Atirantamientos- Rellenos reforzados- Estabilización de bloques
Obras de protección	<ul style="list-style-type: none">- Barreras vegetales- Muros de contención

Tabla No. 4 - Principales tipos de obras de contención (Modificado de IPT, 1991).

Las escalas de trabajo pueden incluir la de los mapas sinópticos (escalas 1:100.000 o menores), la de los mapas detallados (1:2.000 a 1:500), según la clasificación propuesta por la IAEG (1976). En México, estas cartas han presentado escalas entre 1:250.000 a 1:500. Las cartas de susceptibilidad de

escalas de mayor detalle, están asociadas a trabajos de identificación y análisis de riesgo de deslizamientos.

Estas cartas pueden ser elaboradas por diferentes métodos y técnicas de recolección, almacenamiento, integración y análisis de datos.

Las principales etapas de elaboración propuestas por este itinerario son:

- a) planificación: definición de los objetivos, recursos, cronograma, y escalas de trabajo;
- b) recolección de información: recolección de información de interés ya existentes, mapas (topográficos, geológicos, geotécnicos, etc.), fotos aéreas y terrestres, informes, etc.;
- c) formulación de los modelos fenomenológicos preliminares: definición de los tipos de movimientos gravitacionales de masa a ser investigados, teniendo en cuenta los objetivos del trabajo y la dinámica superficial del área de estudio, identificada, preliminarmente, en la etapa de recolección de información;
- d) definición de las unidades de análisis y de los condicionantes a ser utilizados en la elaboración de la carta de susceptibilidad, a partir de los modelos fenomenológicos de inestabilización formulados anteriormente;
- e) subdivisión de los trabajos en tres ramas principales de técnicas de investigación:
 - i. trabajos de cartografía y fotointerpretación;
 - ii. trabajos de campo para el catastro de las inestabilizaciones y estudio de sus condicionantes;
 - iii. retro análisis de eventos pluviométricos que provocaron la deflagración de inestabilizaciones significativas.

- a) integración y análisis de los resultados obtenidos en estas tres ramas de investigación;
- b) registro de la información, y adecuación de los modelos fenomenológicos preliminarmente definidos. El registro es hecho a través de la generación de dos grandes tipos de productos básicos: mapas temáticos diversos; y bancos de información;
- c) definición de los criterios finales para la zonificación del área en cuanto a la susceptibilidad y tipología de los movimientos gravitacionales de masa;
- d) integración y análisis de la información registrada según los criterios definidos en la etapa anterior; y
- e) elaboración de la carta de susceptibilidad a deslizamientos con la delimitación de las zonas homogéneas en cuanto a la potencialidad de deflagración y al tipo de proceso de inestabilización.

Este itinerario es genérico y, como tal, sirve como base para la elaboración de cartas de susceptibilidad a deslizamientos en escalas de trabajo regional y de detalle, puesto que la extensión y duración entre las etapas propuestas deberán ser ajustadas para cada caso, y dependiendo a la magnitud del riesgo

El poblado de Metztitlan, se encuentra en una zona de latente riesgo, debido a su estratigrafía, como lo podemos observar en la siguiente Figura No. 40 que es la carta de susceptibilidad que se elaboro, tomando en cuenta los datos recolectados de la comunidad.

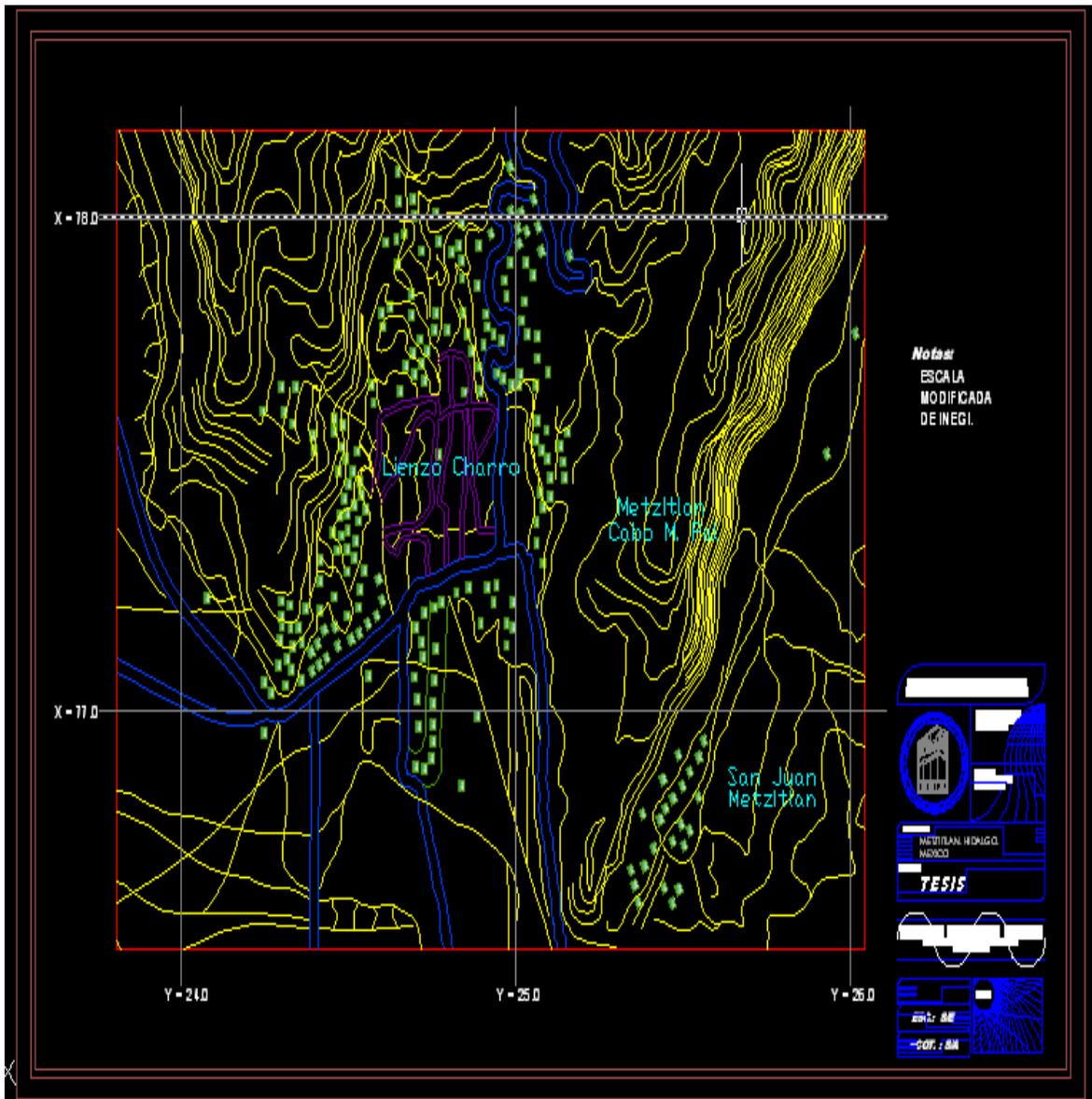


Figura No. 40.- Carta de susceptibilidad de Metztitlan.

En nuestro caso en particular, debió a que es un deslizamiento de una gran masa de terreno inestable, podríamos proponer diferentes formas de estabilización y todas ellas van encaminadas a conseguir un coeficiente de seguridad admisible frente al riesgo geológico existente, algunas formas de estabilización, se mencionan a continuación:

- Desmonte de tierras de ladera para descargar el talud, suavizando pendientes en las zonas más desfavorables, y refuerzo del pie del talud para contener y perfilar su derrumbe.
- Sistemas de drenaje para evacuar el agua de escorrentía y la existencia en la capa freática. Se realizan zanjas de recogida de agua en coronación de talud y en pozos profundos con conexión entre ellos en profundidad para aumentar la eficacia del drenaje. También se disponen drenes californianos subhorizontales para evacuar el agua del interior.
- Construcción de elementos resistentes de contención, en superficie, mediante muros de gravedad o elementos por batache que van anclados al terreno para resistir los esfuerzos transmitidos por los empujes.

Conclusión

Las fotografías aéreas verticales son de suma importancia ya que nos permiten determinar una gran cantidad de información referente a grandes extensiones de terrenos, distancias horizontales y verticales en los mismos, pendientes entre otros, mediante la interpretación del trabajo fotogramétrico o bien la utilización de imágenes de satélite.

De ahí deriva la gran importancia de la fotogrametría como ciencia desarrollada para obtener medidas reales a partir de fotografías, tanto terrestres como aéreas, para realizar mapas temáticos como el topográfico, de mediciones de riesgo geológico y otras aplicaciones geográficas. Todo esto resulta una gran herramienta de ayuda para facilitar en gran medida el campo de la ingeniería civil. Muchos mapas topográficos se realizan gracias a la fotogrametría aérea; Se requieren cámaras analógicas y digitales así como equipos de medición muy precisos para ubicar la posición de los elementos naturales y humanos, y conocer las alturas de puntos en cualquier parte que abarcará el mapa.

El reconocimiento aéreo se ha hecho valioso en grado sumo para el levantamiento de mapas, la agricultura, los estudios del medio ambiente y las operaciones militares.

Es por ello que hemos visto que a partir del uso de imágenes aéreas analizamos los efectos de la erosión del suelo, observamos el crecimiento de los bosques, determinamos un área de riesgo geológico, que en nuestro caso es el deslizamiento o una falla normal que atraviesa el poblado en estudio de Metztitlan y donde observamos la evolución de cosechas, también podemos ayudar a la planificación del crecimiento de las ciudades, ante la explosión demográfica que se presenta regularmente en lugares de alto riesgo. Y este es un problema que nos aqueja y no solo a los habitantes de este poblado si no que también implica a la República Mexicana.

Conclusión

En las últimas décadas, ante la existencia de una creciente presión propia de la actividad humana y, paralelamente, un mayor grado de conocimiento de las causas y efectos de los diferentes riesgos geológicos, éstos han comenzado a tener mayor influencia en la determinación de políticas y prioridades para inversiones o emprendimientos económicos y en la fijación de pautas de ocupación del territorio, así como tomar normas y procedimientos de construcción.

El deslizamiento que ocurre en el poblado de Metztitlan es una falla normal activa. Lo que trae consigo un daño potencial permanente a los sistemas de abasto de agua potable y energía, así como a los inmuebles públicos y privados.

La Fotogrametría ha dejado de ser una técnica reservada al campo de la topografía, para constituirse en una herramienta eficaz y precisa para el levantamiento de planos de edificios, gracias a la potencia de los ordenadores y a la aparición de aplicaciones informáticas sencillas y asequibles. Es por ello que ha sido de gran ayuda en la detección del riesgo geológico presente en el municipio de Metztitlan, Hidalgo.

En el campo del levantamiento de planos de edificios históricos, este sistema es insustituible sobre todo debido a la reducción drástica del tiempo destinado a la toma de datos "in situ" (sólo la toma de fotografías y alguna medida de control) ya que todas las posibles medidas necesarias están registradas en dichas fotografías.

En términos generales, podemos mencionar que la determinación del riesgo geológico que existe en Metztitlan, debido al deslizamiento de taludes. Se puede mitigar con la ayuda de procedimientos de estabilización, y a estudios de susceptibilidad. Todo con la finalidad de salvaguardar vidas humanas e inmuebles, de los habitantes de esa región.

Bibliografía

Academia Politécnica Militar (2001). *Lectura de Cartas Topográficas* (CD ROM). Santiago, Chile: Autor.

Anuario Estadístico Hidalgo Edición (2000) [Gobierno del Estado de Hidalgo (Secretaría de Desarrollo Social) – INEGI].

Ayala, F. J. (1987). *Introducción a los Riesgos Geológicos*. v.1, p. 3-21. En: *Riesgos Geológicos*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

Bosque, J. (1999): *Sistema de Información Geográfica*. Madrid, España: Ediciones Rialp S.A.

Bryan, K. (1948). *Los suelos y fósiles del Altiplano Mexicano, en la relación a los cambios de clima*: Bol. Soc. Geol. Mex., XIII: 1-20.

Caire, L. J. (1983). *Cartografía Matemática 1*. México: Instituto Politécnico Nacional.

Cantú, Sara. (1953). *La Vega de Metztlán en el Estado de Hidalgo*. México. SMGE., 284 pp. IIS. Mapas.

Canul, G. (1982). *Análisis Estratigráfico y Estructural de la Porción Norte de Metztlán*, Tesis Profesional I.P.N.

Carrasco, B. (1969). *Petrografía y Facies de la Secuencia transgresiva regresiva de las Formaciones del Cretácico Inferior y Medio en Metztlán, Hgo.* Rev. Inst. Mex. Del Petróleo p.p. 24.

Carrasco, V.B. (1969). *Posible importancia económico-petrolera de la brecha litoclástica de la base del Cretácico de la Formación El Doctor, en Metztlán, Hgo.* Rev. I.M.P. p. 70-72.

Chapman H.D. y Pratt, P.F. (1973). *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. México, D. F.: Editorial Trillas, 195 p.

Chuvieco, E. (2000). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid, España: Ediciones Rialp S.A.

Bibliografía

Consejo Estatal de Ecología. *Taller de Gestión y Vinculación Municipal 2000*, Gobierno del Estado de Hidalgo. Enero del 2000.

Cuaderno de Información Básica Metztitlan Estado de Hidalgo. Dirección General de Planeación, edición 2000.

D. Mario Docci. (1994). *Manual de levantamiento Arquitectónico y Urbano*. Maestría-Roma: Laterza.

Díaz de Terán, J.R. (1989). *Tipos y metodologías de cartografías geoambientales o geocientíficas*. En: Geología Ambiental, (F.J. Ayala y J. Jordá, Eds.). I.T.G.E., Madrid, pp. 239-257.

García Uribe, José. (1979). *Recorriendo el Estado de Hidalgo*. México: Autor.

García, E. J. (1976). *Geología del Área de Metztitlan, Estado de Hidalgo*. Tesis Profesional p.p. 57.

Geyne, A. R. et. al. (1963). Geology and Mineral deposits of the Pachuca Real del Monte district, state of hidalgo, Mexico. *Consejo de Recursos Naturales no Renovables*, pub. 5 E, 203 p.

Hernández Silva, G. et. al. (1994). Riesgo de acumulación de Cd, Pb, Cr y Co en tres series de suelos del DR03, Estado de Hidalgo, México; *Revista de Ciencias Geológicas, volumen 11*, número 1; p. 53-61; U.N.A.M.

Instituto Geográfico Militar (2003). *Atlas Geográfico para la Educación*. Santiago, Chile: Autor.

López R.E. (1980). *Geología de México. Tomo II*. Edición Escolar p. 290-343.

Los Municipios de México, Información para el Desarrollo. CEDEMUN, edición 1998.

Martínez G. G. (1984). *Análisis Estratigráfico y Estructural de la Porción Central de la Hoja Metztitlan, Hgo*. México: Autor.

Monografía del Estado de Hidalgo, Instituto Hidalguense de la Cultura, tomo I, edición 1993.

Ogura, Agostinho y Soares, Eduardo (2000). *Procesos y Riesgos Geológicos*. Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Sao Paulo, Brasil: Investigadores División de Geología Instituto de Investigaciones Tecnológicas de São Paulo- IPT.

Segerstrom, K. (1961). *Geología del Sureste del Estado de Hidalgo y del Noreste de México*. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petr. Xiii. (3-4) p.p. 147-168.

T. Gil Piqueras. (2003). *Levantamientos planimétricos en edificación*. Valencia: UPV.

Tejeda, G.C. (1978). *Estudio Geológico de Reconocimiento en la Parte Central y Sur del Estado de Hidalgo*. Tesis Profesional ESIA-IPN.

OTRAS REFERENCIAS

<http://www.conanp.gob.mx/sig/>

<http://www.geomatica.ing.unico.it>

<http://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/gestr04a.htm>

<http://www.metztitlan.com.mx/historia.html>

<http://www.nasa.gov>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [En red]. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Hidalgo 2005. [En red]. Disponible en: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/hidalgo/municipios/13037a.htm>

Índice de Figuras

	Pág.
Figura No. 1.- Ubicación geográfica del Estado de Hidalgo.....	4
Figura No. 2.- División política (municipios) de Hidalgo.....	11
Figura No. 3.- Glifo municipio de Metztitlan.....	13
Figura No. 4.- Municipios colindantes.....	15
Figura No. 5.- Orografía de Metztitlan.....	17
Figura No. 6.- Laguna de Metztitlan.....	18
Figura No. 7.- Cactus característicos del Valle de Metztitlan.....	20
Figura No. 8.- Escuela de Educación secundaria en el Valle de Metztitlan..	22
Figura No. 9.- Valle de Metztitlan.....	25
Figura No. 10.- Ex-convento de los Santos Reyes (siglo XVI).....	26
Figura No. 11.- Fotografía Aérea.....	35
Figura No. 12.- Fotomosaicos.....	36
Figura No. 13.- Ortofoto.....	37
Figura No. 14.- Representación de la Escala Absoluta.....	40
Figura No. 15.- Representación de la Escala Media.....	41
Figura No. 16.- Representación de la Escala Relativa.....	42
Figura No. 17.- Mosaicos Fotográficos.....	45
Figura No. 18.- Fotografías aéreas.....	46
Figura No. 19.- Fotografías consecutivas.....	47
Figura No. 20.- Imagen de satélite útil para el planeamiento urbano.....	49
Figura No. 21.- Estereoscopio de espejo.....	51
Figura No. 22.- Fotografía aérea vertical.....	54

Índice de Figuras

Figura No. 23.- Modelo 3D del terreno.....	70
Figura No. 24.- Imagen satelital de Sudamérica.....	70
Figura No. 25.- Satélite artificial orbitando la Tierra.....	71
Figura No. 26.- Componentes de un SIG.....	72
Figura No. 27.- Capas de información en SIG.....	73
Figura No. 28.- Recepción de señal de satélite en navegador.....	74
Figura No. 29.- Constelación de satélites NAVSTAR.....	74
Figura No. 30.- Componentes Básicos del Hardware de un Equipo de Fotogrametría Digital.....	77
Figura No. 31.- Restitución fotogramétrica del terreno.....	79
Figura No. 32.- Ejemplo de un riesgo geológico.....	93
Figura No. 33.- Fallas normales – inversas.....	104
Figura No. 34.- Sondaje en los diferentes tipos de fallas.....	104
Figura No. 35.- Representación antitética – homotética.....	105
Figura No. 36.- Representación desplazamiento.....	106
Figura No. 37.- Orientación y sentido del desplazamiento.....	107
Figura No. 38.- Fallas con diaclasas plumosas.....	107
Figura No. 39.- Representación arrastre.....	108
Figura No. 40.- Carta de susceptibilidad de Metztitlan.....	117

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla No. 1.- Poblacion economicamente activa.....	27
Tabla No. 2.- Clasificación de los riesgos.....	99
Tabla No. 3.- Fallas verticales – sub verticales.....	104
Tabla No. 4 - Principales tipos de obras de contención (Modificado de IPT, 1991).....	115